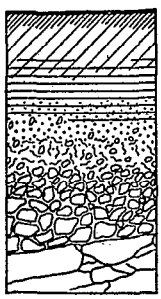
MÉMOIRES ORSTOM

R. BOULET

TOPOSÉQUENCES DE SOLS TROPICAUX EN HAUTE-VOLTA

Équilibre et déséquilibre pédobioclimatique



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ET TECHNIQUE OUTRE-MER

ORSTOM

ÉDITIONS DE L'OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

RENSEIGNEMENTS, CONDITIONS DE VENTE

Pour tout renseignement, abonnement aux revues périodiques, achat d'ouvrages et de cartes, ou demande de catalogue, s'adresser au:

SERVICE DES PUBLICATIONS DE L'ORSTOM
70-74, route d'Aulnay, 93140 BONDY (France)

- Tout paiement sera effectué par chèque bancaire barré au nom de RÉGIE ORSTOM BONDY, ou par chèque postal (compte n° 9.152-54, Paris, RÉGIE ORSTOM BONDY).
- Achat au comptant possible à la bibliothèque de l'ORSTOM, 24, rue Bayard, 75008 PARIS.

I - CAHIERS ORSTOM

BIOLOGIE
ENTOMOLOGIE MÉDICALE ET PARASITOLOGIE
HYDROBIOLOGIE
HYDROLOGIE
OCÉANOGRAPHIE
PÉDOLOGIE
SCIENCES HUMAINES

séries trimestrielles	Abonnement:	*France*	120 F.	
		Etranger	156 F.	36,30 US dollars
GÉOLOGIE - *série semestrielle*	Abonnement:	*France*	96 F.	
		Etranger	120 F.	28,00 US dollars

II - BULLETIN ANALYTIQUE D'ENTOMOLOGIE MÉDICALE ET VÉTÉRINAIRE

12 numéros par an *(15 fascicules)*	Abonnement:	*France*	115 F.	
		Etranger	130 F.	30,25 US dollars

Dans la collection des MÉMOIRES de l'ORSTOM :

J. VIEILLEFON

N° 83 — Les sols des mangroves et des tannes de basse Casamance (Sénégal), ORSTOM, Paris, 292 p., 1 carte h. t. . . . . 150 F.

J.-F. TURENNE

N° 84 — Modes d'humidification et différenciation podzolique dans deux toposéquences guyanaises. ORSTOM, Paris, 174 p., 1 pl. couleur . . . . . 90 F.

TOPOSÉQUENCES DE SOLS TROPICAUX EN HAUTE-VOLTA

Equilibre et déséquilibre pédobioclimatique

MÉMOIRES ORSTOM nº 85

RENÉ BOULET

Pédologue de l'ORSTOM

TOPOSÉQUENCES DE SOLS TROPICAUX EN HAUTE-VOLTA

Équilibre et déséquilibre pédobioclimatique

ORSTOM
PARIS
1978

Avant-propos

Ce travail clôt dix années passées en Afrique occidentale sahélo-soudanaise.

Cette période fut préparée, après deux années d'études générales à l'Institut National Agronomique, par l'enseignement de Monsieur Georges AUBERT, à qui je dois mon initiation à la pédologie. Maître renommé, il sait communiquer à ses élèves son enthousiasme pour la pédologie tropicale et leur transmettre son vaste savoir. Je lui suis extrêmement reconnaissant de s'être toujours intéressé à mon travail et d'avoir accepté de faire partie de mon jury après avoir lu minutieusement ce mémoire et discuté chaque point avec bienveillance.

Mes débuts sur le terrain furent ensuite guidés par Michel GAVAUD, qui m'a fait bénéficier sans réserve de sa profonde connaissance des sols et du milieu sahélo-soudanais. Je lui dois beaucoup ; qu'il en soit ici remercié.

Les années qui suivirent furent consacrées à la cartographie systématique au Niger puis en Haute-Volta, pays attachants lorsqu'on y vit près des hommes et de la nature. Au cours de cette période, j'eus à travailler avec de nombreux collègues pédologues ou chercheurs d'autres disciplines, collaboration toujours agréable et enrichissante, et dont j'ai plaisir à les remercier. Je pense en particulier à Jean-Claude LEPRUN, dynamique compagnon de terrain ; nous fîmes bien souvent les mêmes trouvailles simultanément et il s'ensuivait des discussions passionnées et passionnantes. Je pense aussi à Daniel NAHON, géologue de la Faculté des Sciences de Marseille, qui me fit découvrir son beau domaine d'étude, le Sahara Mauritanien, et avec qui les échanges restent depuis aussi fructueux qu'agréables ; à Bokar KALOGA, qui m'aida de sa vaste expérience pédologique, lors de mes débuts sur le socle voltaïque ; à Claude HANRION, collaborateur d'une remarquable efficacité et aux multiples compétences. Les chercheurs résidents du Centre O.R.S.T.O.M. de Ouagadougou surent toujours rendre agréable le passage du nomade que j'étais. Ne pouvant les citer tous ici, je les remercierai en la personne de leur directeur Henri BARRAL, qui m'a toujours accueilli en ami et m'a constamment facilité la tâche, allant jusqu'à me confier ses précieux dromadaires, sans lesquels je n'aurais pu faire une fructueuse tournée en saison des pluies dans le Nord de la Haute-Volta.

Mais ce travail n'aurait certainement pas vu le jour si je n'avais eu la chance d'entrer dans la mouvance intellectuelle de Monsieur le Doyen Georges MILLOT qui préside mon jury. Il vint sur mon terrain, s'intéressa à mon travail et, par là même, m'encouragea à le poursuivre. Je profitais de sa vision claire et pénétrante des problèmes de la géochimie de la surface et de la pédologie elle-même, ainsi que de sa vaste culture scientifique. Il m'accueillit dans son Institut de Strasbourg où je trouvais l'ambiance studieuse et amicale qu'il a su y créer. Malgré ses innombrables charges, il ne ménagea pas son temps pour m'aider à rédiger ce mémoire. J'ai bénéficié, comme beaucoup d'autres, de sa grande richesse scientifique et humaine et je lui en exprime ma profonde reconnaissance.

Mon autre chance fut de rencontrer Gérard BOCQUIER, membre de mon jury. Certes, son influence précéda de loin cette rencontre, puisque ses travaux vinrent très tôt bousculer un certain confort intellectuel. Il n'est pas exagéré de dire que ce travail n'aurait pas été fait s'il n'avait été précédé par le sien, dont l'influence apparaîtra en filigrane à travers bien des pages de ce mémoire. Dès mon retour en France, il fut pour moi un conseiller éclairé, impartial et toujours amical. Il sait, qualité rare, être à la fois un Maître et un ami.

Ma reconnaissance va aussi à Monsieur Jacques LUCAS, professeur à la Faculté des Sciences de Strasbourg, qui a accepté de faire partie de mon jury et fut toujours disponible pour lire et discuter mon travail.

Je dois une mention particulière à Alain RUELLAN qui, en tant qu'animateur de Thème à l'O.R.S.T.O.M., a contribué à m'obtenir des moyens de travail, puis, une fois professeur à l'E.N.S.A. de Rennes, a pris le temps de lire mon manuscrit avec le plus grand soin et m'aida par son exigence de rigueur et de clarté.

Je remercie Monsieur Guy CAMUS, Directeur Général de l'O.R.S.T.O.M., d'avoir bien voulu me décharger des tâches de Service pendant ces trois années et accepté de m'affecter à Strasbourg.

A l'Institut de Géologie de Strasbourg, je ne me suis jamais senti étranger, chacun y étant au service des autres, quelle que soit leur origine. J'ai accumulé là une dette de reconnaissance dont je ne pourrai jamais m'acquitter. Auprès d'Hélène PAQUET, qui sait donner à l'amitié tout son sens ; son aide sur le plan pratique et surtout scientifique fut considérable ; il n'est que juste de préciser que le chapitre sur la minéralogie des argiles est aussi son œuvre. Auprès d'Yves TARDY, qui fut toujours disponible pour m'aider à voir clair dans mes résultats analytiques. Auprès des chercheurs responsables des divers services, Y. BESNUS, F. WEBER, N. TRAUTH, D. JEANNETTE et de leurs équipes et en particulier de M. GAINE à qui je dois de bien belles lames minces réalisées dans des conditions techniques difficiles.

A Strasbourg, je fis la connaissance de collègues géologues de l'O.R.S.T.O.M., A. NOVIKOFF et J. J. TRESCASES avec qui le dialogue fut très enrichissant et j'eus le plaisir de retrouver G. GRANDIN toujours prêt à éprouver la solidité d'un raisonnement ou à tirer un ami du découragement.

A Dakar, même après mon départ, j'ai continué à bénéficier de l'amitié et du dévouement de P. MERCKY, du Centre O.R.S.T.O.M., qui n'a pas hésité à prendre sur son temps libre pour accélérer la réalisation de mon programme de lames minces.

Les Services Centraux de l'O.R.S.T.O.M. à Bondy ne m'ont pas non plus compté leur aide. Je remercie vivement M. PELLOUX et son équipe du Laboratoire des sols, M. PINTA, chef du Laboratoire de spectrographie et Mme VILLETTE, pour m'avoir fourni des résultats analytiques d'une grande qualité, MM. PARROT et VERDONI pour avoir fait réaliser une partie de mes lames minces avec rapidité, Mme MASSONI et Mlle PERROT de l'abondante documentation qu'elles m'ont procurée.

Mes remerciements vont aussi à tous ceux qui, à l'Institut de Géologie de Strasbourg, m'ont aidé matériellement dans mon travail, et particulièrement à Mlle Betty WOLFF, Mme ORY, Mlle Marguerite WOLF, MM. GRUNER, HUGEL, WENDLING et SCHUSTER.

Enfin, je n'aurais garde de terminer cet avant-propos sans avoir une pensée reconnaissante pour les terrassiers voltaïques sans qui ce travail n'aurait pu être réalisé. Leur courage et leur bonne humeur ont toujours fait mon admiration.

Introduction

En raison de la méthode d'étude utilisée sur le terrain, l'observation de profils verticaux, le sol a été longtemps considéré comme le résultat de transformations verticales. Ainsi, de bas en haut, la roche mère se transformait en horizons successifs, par départ de certains éléments solubles, redistribution au sein du profil de particules solides, de produits en solution, de matière organique, sous l'effet des eaux météoriques et de l'activité biologique.

Certes, l'on prit très tôt conscience de ce que, sur un versant situé sur une roche mère uniforme, le sol pouvait varier latéralement de façon ordonnée et systématique. Mais ces variations latérales furent attribuées surtout aux facteurs externes : matériau originel ou drainage, tous deux liés à la topographie et influencés par la végétation (MILNE, 1935 ; GREENE, 1945 ; NYE, 1954). Cependant, des relations génétiques entre l'amont et l'aval, liées au lessivage oblique (GREENE, 1947 ; DUCHAUFOUR, 1948) furent admises. Il en fut ainsi, en milieu tropical pour les accumulations d'hydroxydes en bas de pente (MAIGNIEN, 1958), en milieu tempéré podzolique pour le lessivage des sols humo-cendreux (AUBERT, 1952).

Ces conceptions, complétées par une analyse historique des diverses couvertures pédologiques basée sur les données de la géographie des sols et de la géomorphologie, suffirent à expliquer la répartition des grands ensembles de sols révélés par la cartographie systématique au 1/500 000 d'une grande partie de l'Afrique occidentale sahélo-soudanaise (GAVAUD, BOULET et LEVEQUE, à paraître).

Sur ces entrefaites, des travaux effectués au Tchad (BOCQUIER, 1968, 1971) ont montré, sur deux toposéquences, la prépondérance de la dynamique latérale dans l'évolution pédogénétique de certains versants. Après une phase de lessivage généralisé, des migrations verticales de substances solides et des transports latéraux de produits en solution provoquent, à la base et à l'aval des horizons lessivés, des accumulations argileuses successives par illuviation, transformation, néoformation. Les horizons d'accumulation qui en dérivent apparaissent en bas de pente, puis remontent vers l'amont du versant qu'ils envahissent. En zone sahélo-soudanaise, ces horizons d'accumulation sont montmorillonitiques et calciques. Ainsi BOCQUIER montra-t-il qu'en un point donné des toposéquences qu'il étudiait, le sol est passé ou passera du stade sol lessivé aux stades planosol, solonetz puis vertisol, par invasion remontante d'horizons B. Une fois ces résultats acquis, le même auteur proposa une séquence climatique des associations géochimiques tropicales, basée sur la prééminence de la dynamique latérale et remontante dans les couvertures pédologiques, de l'équateur à la zone aride.

Cette interprétation est fertile. Elle explique bien la formation d'un certain nombre de toposéquences d'Afrique de l'Ouest. Mais il se trouve que, dans la même région, d'autres couvertures pédologiques présentent les caractères d'une dynamique verticale. Il est apparu

que, dans ce dernier cas, le rôle prépondérant dans l'élaboration du plasma argileux revient à l'altération in situ des minéraux primaires.

Ainsi s'est posée la question de savoir s'il existe des couvertures pédologiques à dynamique essentiellement verticale et d'autres à dynamique latérale dominante et, dans l'affirmative, quelles sont leurs relations réciproques.

Pour répondre à cette question, on a choisi un petit nombre de toposéquences représentatives, pour la Haute-Volta orientale, des principales différenciations pédologiques sur les arènes migmatitiques. Il convenait en effet de limiter nos investigations à un seul type de matériau originel. Certaines de ces toposéquences semblent conformes à l'optique verticaliste, tandis que les autres comportent, de toute évidence, des systèmes dynamiques latéraux analogues à ceux décrits au Tchad. L'étude de ces toposéquences devrait nous permettre de faire la part de chacune des deux tendances, et, dans la mesure où elles se confirment l'une et l'autre, de les inclure dans un schéma d'ensemble cohérent.

L'entreprise n'en reste pas moins délicate, sinon difficile. En effet, on y court le risque de paraître, pour certains, s'acharner à démontrer ce qui semblait jusqu'ici acquis, à savoir que les horizons d'un sol se développent essentiellement à partir du matériau originel, pour d'autres, réitérer inutilement et avec moins de maîtrise l'étude de BOCQUIER.

Mais le problème posé nous paraissait trop important pour en esquiver l'étude, quitte à demander au lecteur indulgence et patience.

La première partie sera consacrée à une brève étude du milieu naturel.

La seconde partie comportera l'étude morphologique et micromorphologique des toposéquences.

Dans la troisième partie seront examinées les données analytiques.

La quatrième partie sera consacrée à une interprétation d'ensemble dans laquelle, après avoir rassemblé, pour chaque type de toposéquence, les principaux résultats dispersés dans les chapitres précédents, on tentera d'en estimer les possibilités de généralisation en se plaçant dans un cadre climatique et historique un peu plus vaste.

Première Partie

LE MILIEU NATUREL

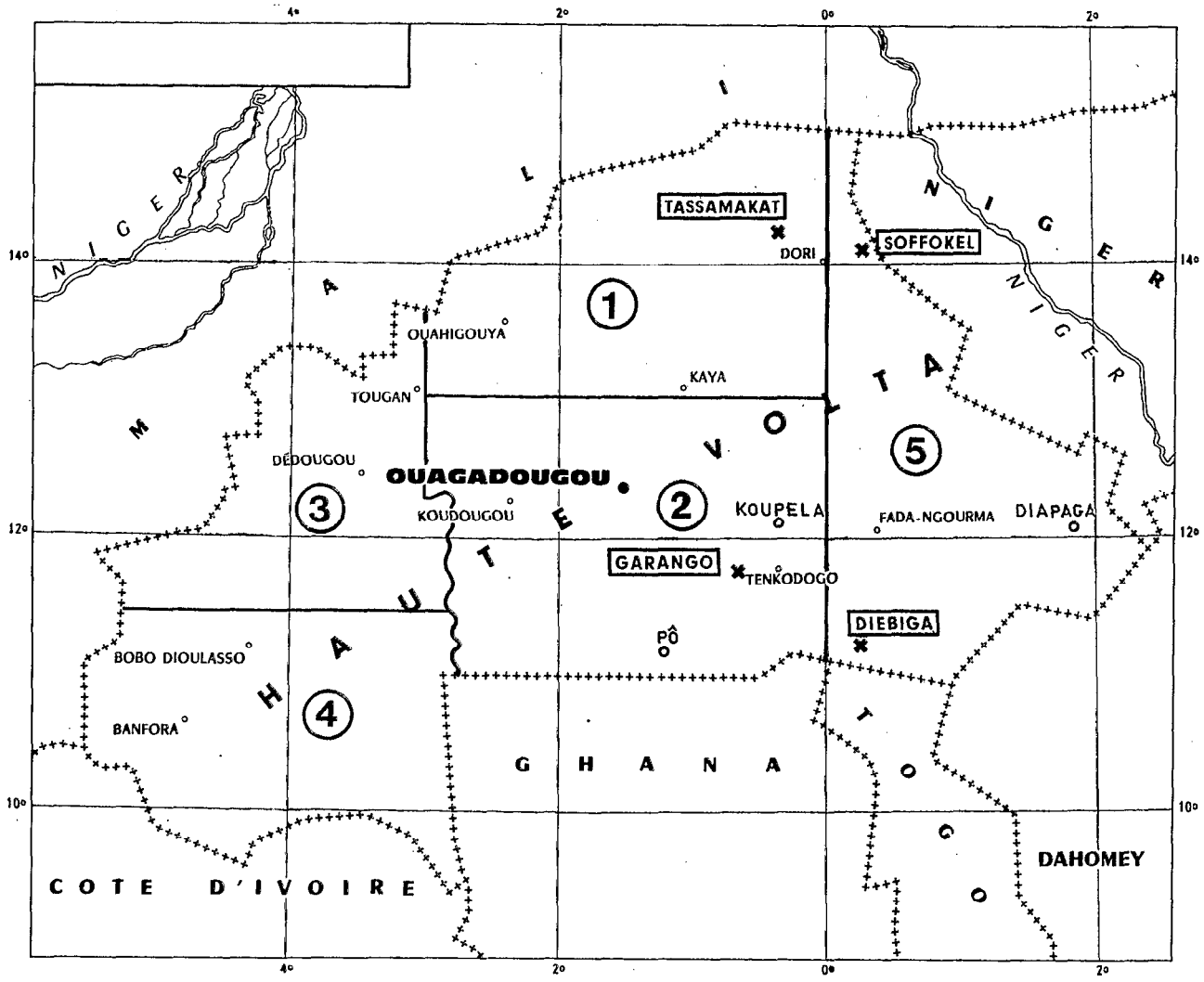


FIG. 1. — Carte de situation.
Coupures de la carte pédologique à 1/500 000 de Haute-Volta

1 Centre-Nord. BOULET, 1968
2 Centre-Sud. KALOGA, 1969
3 Ouest-Nord. LEPRUN, MOREAU, 1969
4 Ouest-Sud. RIEFFEL, MOREAU, 1969
5 Est. BOULET, LEPRUN, 1970
× SOFFOKEL Localisation des points d'étude

I. LOCALISATION GÉOGRAPHIQUE

La Haute-Volta est située au centre de l'Afrique de l'Ouest. Séparée du Sahara par le Mali oriental, du golfe du Bénin par les pays côtiers à climat tropical humide, elle constitue une zone de transition entre les zones arides septentrionales et les régions humides.

Le choix des sites d'étude susceptibles de caractériser les principales différenciations pédologiques sur arènes granitiques et migmatitiques au sein de cette zone de transition fut grandement facilité par la cartographie pédologique systématique au 1/500 000 effectuée entre les années 1967 et 1970 (fig. 1). Ce fut en effet au cours de cette prospection que les problèmes qui sont traités dans ce mémoire sont apparus et que les zones clé où l'on pouvait les étudier avec le plus de chance de succès ont été déterminées. Aussi est-ce en Haute-Volta orientale, dans les régions que j'ai cartographiées (BOULET, 1968-1970) ou dans les régions contiguës cartographiées par KALOGA (1969) et LEPRUN (1970) que se situent les points d'étude.

La méthode de recherche adoptée sur le terrain est celle des toposéquences dont BOCQUIER a illustré récemment (1971) l'efficacité. Après avoir retenu un (ou plusieurs) axe orienté selon la ligne de plus grande pente, on fait l'inventaire des différents types de profils existant sur cet axe depuis la ligne de partage des eaux jusqu'au thalweg. Puis on recherche systématiquement les zones de transition entre ces divers types jusqu'à pouvoir observer dans une fosse tout passage d'une organisation à une autre lorsque ce passage est rapide. Lorsque les transitions latérales sont progressives, on se contente d'étudier des profils intermédiaires entre les différenciations extrêmes.

Cinq toposéquences (ou groupes de toposéquences) furent retenues. Deux sont situées au Nord du 14e parallèle, dans la zone sahélienne, à Tassamakat et à Soffokel. Deux sont localisées à Garango dans le Centre Sud de la Haute-Volta. La dernière enfin est à Diébiga, près de la frontière du Togo (fig. 1).

II. LES GRANDS TRAITS GÉOGRAPHIQUES ET GÉOMORPHOLOGIQUES DE LA HAUTE-VOLTA ORIENTALE RELATIONS AVEC LA DISTRIBUTION DES SOLS

La Haute-Volta orientale est caractérisée dans son ensemble par un aplanissement très poussé résultant d'une longue évolution pédologique et géomorphologique. Le modelé est alors constitué de longs glacis à pente très faible (< 1 %), souvent couronnés par des lambeaux de cuirasse ferrugineuse résiduelle.

Au Sud toutefois, dans une région approximativement délimitée par une ligne Diapaga-

Fada N'Gourma-Koupela-Pô, se manifeste une modification sensible du modelé, particulièrement frappante pour qui vient des platitudes septentrionales. Les interfluves se raccourcissent, leur pente s'accentue, l'aspect du paysage devient vallonné et annonce déjà les modelés plus vigoureux des régions humides.

Certaines régions, à relief accentué, émergent de cette pénéplaine. Ce sont principalement les régions de collines birrimiennes dont l'une des plus vastes forme un arc de cercle à l'Ouest de Kaya. Quelques inselbergs granitiques rompent également cette monotonie. Les plus imposants se situent aux environs de Pama. D'autres, plus modestes, dominent les alentours de Garango et c'est au pied de l'un d'eux que se situe l'une des toposéquences étudiées dans ce travail.

En dehors des massifs rocheux mentionnés ci-dessus, l'ossature du relief est très généralement constituée par des formations cuirassées inactuelles qui permettent par leur étagement (fig. 2) de tenter la reconstitution de l'histoire du modelé (VOGT, 1959 ; MICHEL, 1969 ; BOULET, 1970, GRANDIN, 1973). La cuirasse la plus ancienne, qui domine le paysage est bauxitique. Ses principaux témoins, situés dans la région de Kaya et à l'Ouest de Dori, ont une cote très constante (500-515 m) et constituent les restes d'une surface d'aplanissement. Elle peut être corrélée avec la cuirasse bauxitique estimée éocène par MICHEL en Guinée (1959). La cuirasse suivante culmine à 440 m aux abords des reliques de la cuirasse bauxitique et s'abaisse vers le Niger avec une pente générale de l'ordre de 1 ‰. Très épaisse (10 m), elle présente un faciès pisolitique à nodulaire, riche en hématite, très spécifique. On l'assimile, par sa position relative et par son faciès au relief intermédiaire de VOGT (1959), ce qui la situe à la fin du Tertiaire.

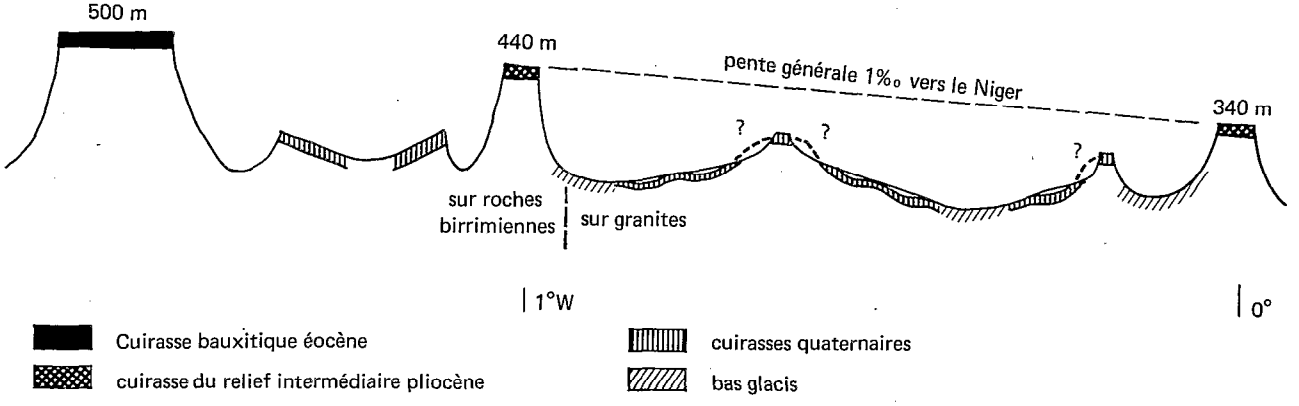


FIG. 2. — Coupe schématique E-W des diverses surfaces en Haute-Volta orientale (BOULET 1970 modifié d'après LEPRUN 1972 en ce qui concerne les cuirasses quaternaires).

Les cuirasses quaternaires se divisent généralement en deux ensembles par leur cote relative et leur épaisseur : on observe soit des buttes témoins à cuirasse épaisse qui dominent le paysage de quelques mètres à une quinzaine de mètres, soit des cuirasses plus minces, de faciès analogue et qui sont noyées dans le modelé des versants actuels dont elles occupent généralement le sommet. Ceci m'avait amené en 1967 à distinguer, à la suite de MICHEL (1959-1969), un haut glacis cuirassé et un moyen glacis également cuirassé mais plus récent. Les études détaillées de LEPRUN dans la même région remettent en question l'interprétation chronologique de cet étagement. Ces cuirasses quaternaires fossiliseraient un même modelé, fortement ondulé et vigoureusement entaillé par endroit, ce qui déterminerait l'existence de témoins perchés. Les différences d'épaisseur et de faciès éventuelles seraient à relier essentiellement à des différences de roches mères (LEPRUN, 1972).

Les cuirasses quaternaires, perchées ou non, se situent le plus souvent au sommet des interfluves élémentaires, dont elles peuvent couvrir une proportion importante. Vers l'aval,

leur fait suite une surface non cuirassée ; le passage s'effectue en général sans ressaut perceptible. Cette dernière surface porte fréquemment des sols profonds et bien différenciés, parfois légèrement carapacés en profondeur. Il s'agit là du bas glacis de MICHEL (1959-1969).

Les cuirasses constituent les témoins les plus visibles des périodes de pédogenèse ancienne, mais n'en sont pas les seuls résultats. Ainsi, en région cristalline, elles protègent généralement un épais manteau d'altération, principalement hérité des périodes où se sont formées les surfaces les plus anciennes (GAVAUD, 1967a ; BOULET, 1970), à fraction fine presque exclusivement kaolinitique, et qui résulte d'une longue altération très hydrolysante. Sa composition en fait un matériau géochimiquement très stable sous le climat actuel de la Haute-Volta. En milieu bien drainé, il repose sur la roche saine par l'intermédiaire soit d'une zone arénacée en région granitique (cf. fig. 10), soit d'une mince écorce d'altération sur roche basique. Par sa composition, il s'oppose aux matériaux d'altération plus récents dérivés des niveaux arénacés ou des roches saines que la formation du bas glacis a souvent mis à portée des agents pédogénétiques actuels.

On est ainsi amené à distinguer sur le socle deux grands ensembles de sols (GAVAUD, 1967a ; BOULET, 1970) :

— Les sols dérivés de matériaux d'altération kaolinique anciens où les principaux processus évolutifs possibles sont limités à la migration des éléments solubilisables et des produits fins ainsi qu'à d'éventuelles dégradations de minéraux argileux. C'est le domaine des sols ferrugineux tropicaux sur altération ancienne, domaine actuellement étudié en Haute-Volta par LEPRUN (1971) et KALOGA (1972).

— Les sols développés sur arène riche en minéraux altérables, et dont l'évolution géochimique et minéralogique est beaucoup plus complexe. C'est l'étude de ces sols que nous allons aborder dans la seconde partie de ce travail.

Pour cette étude, on tentera de se situer hors du domaine des héritages anciens, contemporains ou antérieurs aux périodes de cuirassement important. Dans ce but, les toposéquences ont été placées dans des régions ou au moins sur des interfluves exempts de ces altérites anciennes. Cette précaution, si elle permet d'éliminer la quasi-totalité des héritages purement pédologiques, ne nous met pas à l'abri de façon certaine des vieilles racines d'altération. En effet, il est peu probable qu'à une époque quelconque du quaternaire, la région qui nous intéresse ait été décapée de ses sols et matériaux d'altération jusqu'à la roche saine sur de vastes surfaces, pour repartir ensuite vers une histoire entièrement neuve. Les pédogenèses successives ont probablement intégré, pour une part souvent difficile à déterminer, un certain héritage des altérations antérieures.

En résumé, l'histoire pédologique et géomorphologique de la Haute-Volta est longue et complexe. De nombreux jalons de cette histoire persistent. Ce sont principalement les cuirasses et leur manteau d'altération, qui ont fait et feront encore probablement l'objet de nombreuses recherches de la part des géologues, des géomorphologues, des pédologues. Pour ma part, je me limiterai à l'étude des sols formés au cours de la période la plus récente et aussi la plus brève, postérieurs aux phases de cuirassement important et évolués sur les matériaux les plus frais.

III. APERÇU GÉOLOGQIUE

Le substrat géologique de la Haute-Volta orientale est en majeure partie constitué par le socle précambrien. On signalera pour mémoire au Nord l'Infracambrien sédimentaire (groupe d'Ydouban) étudié en dernier lieu par DELFOUR (1970), au Sud le Voltaïen gréseux et schisteux. (Infracambrien ou Cambro-Ordovicien), au Sud-Est enfin le Continental Terminal (VYAIN, 1967).

Le socle comprend :

— Des formations métamorphiques rapportées au Birrimien qui s'organisent selon le schéma d'évolution du géosynclinal birrimien proposé par TAGINI pour la Côte-d'Ivoire (Bos, 1967).

— Des granites éburnéens correspondant à la phase orogénique qui a succédé à la phase géosynclinale birrimienne : granites et migmatites syntectoniques.

— Des granites tardi- ou post-tectoniques, en massifs circonscrits peu abondants et principalement représentés dans le Nord (DELFOUR, 1970) et le Sud (LEGRAND, 1968).

— Des dolérites et gabbros post-tectoniques en dykes ou en petits massifs.

Cette étude étant strictement limitée aux sols développés sur granites et migmatites, je me limiterai à la caractérisation de ces roches dans le cadre de la Haute-Volta orientale à partir des travaux de DUCELLIER (1963), BOS (1967), VYAIN (1967), LEGRAND (1968), DELFOUR et JEAMBRUN (1970). Une description minéralogique et chimique plus précise sera donnée aux paragraphes consacrés aux roches mères de l'étude des sols.

A. LES GRANITES ET MIGMATITES SYNTECTONIQUES

Les granites syntectoniques comprennent tous les termes intermédiaires entre un pôle migmatitique et un pôle granitique élaboré (Bos, 1967). Si l'on excepte la toposéquence de Diébiga, tous les sites d'étude sont localisés sur des migmatites, ce qui entraîne une hétérogénéité certaine dans la composition des roches. Toutefois la composition minéralogique reste en grand à peu près constante et cette hétérogénéité est, sauf cas particulier, insuffisante pour modifier profondément à elle seule la morphologie et la composition chimique des sols. Ces migmatites contiennent fréquemment des enclaves mélanocrates résiduelles de roches birrimiennes.

Du point de vue minéralogique on distingue essentiellement :

— Des granites à deux micas, rares.

— Des granites à biotite, à texture grenue, constitués de quartz, microcline, oligoclase et biotite. Ce sont les plus fréquents.

— Des granites à biotite et amphibole, à oligoclase, presque aussi fréquents que les granites à biotite seule.

Tableau I. — COMPOSITION CHIMIQUE DE QUELQUES GRANITES DE HAUTE-VOLTA ORIENTALE.

	Granite akéritique hololeucocrate à 2 micas (1)	Granite akéritique à 2 micas (1)	Granite akéritique à biotite (1)	Granodiorite à biotite et amphibole (1)	Granite de Tassamakat	Granite de Garango I	Granite de Garango II	Granite de Diébiga
SiO^2	71,65	68,15	65,05	65,45	71,8	72,7	78,9	74,1
Al^2O^3	14,55	15,75	15,00	15,65	15,5	14,6	11,4	12,8
Fe^2O^3	0,90	1,55	1,00	1,45	1,9	2,3	2,8	2,1
FeO	0,45	1,50	2,95	2,60				
MnO	0,06	0,05	0,09	0,08	0,04	0,02	0,04	0,04
MgO	0,25	1,00	1,90	2,45	0,46	0,72	0,1	0,41
CaO	1,40	2,60	4,42	3,80	1,8	3,2	1,3	1,2
Na^2O	4,50	5,50	3,00	3,70	4,87	4,38	4,73	3,78
K^2O	4,35	2,80	4,00	2,70	2,83	1,05	1,19	4,41
TiO^2	0,25	0,30	0,80	0,50	0,22	0,26	0,18	0,23
P^2O^5	0,05	0,20	0,61	0,20				

(1) Tiré de DUCELLIER 1963.

Le tableau I montre, au sein de cet ensemble de granites syntectoniques, une importante variabilité de la composition chimique, qui joue principalement sur la silice, le fer et les bases. Les roches mères des diverses toposéquences se situent nettement vers le pôle acide par leur richesse en silice et leur relative pauvreté en calcium et en fer.

B. LES GRANITES POST-TECTONIQUES

Les granites post-tectoniques sont relativement abondants dans la région de Pama où ils forment des massifs circonscrits recoupant les migmatites et les roches métamorphiques birrimiennes. Ce sont en général des roches à gros grains, à biotite assez peu abondante. La hornblende y est très rare (LEGRAND, 1968).

Le granite de Diébiga, sur lequel a été étudiée l'une des toposéquences, forme une entité particulière. C'est un granite rose porphyroblastique, dont la couleur est due aux cristaux de microcline. La matrice comporte quartz, biotite, oligoclase. Ce granite est parcouru de filons basiques à grain fin, dans lesquels se sont en général creusés les thalwegs. En dehors de ces intrusions basiques, le granite de Diébiga est d'une remarquable homogénéité.

IV. CLIMAT ACTUEL, PÉDOCLIMAT ET ÉROSION

La Haute-Volta orientale est soumise dans son ensemble au climat défini par AUBREVILLE (1949) comme « Sahélo-soudanais ». Il est caractérisé par une pluviosité moyenne de 400 à 1 200 mm, répartie sur une courte saison des pluies, inférieure ou égale à 5 mois, une température moyenne élevée, une humidité atmosphérique faible pendant la plus grande partie de l'année. Cette zone climatique, établie pour une classification à l'échelle de l'Afrique, est cependant définie trop largement pour caractériser l'ensemble des conditions climatiques régionales. La distribution des grands types de formations végétales met en évidence deux domaines climatiques principaux : un domaine septentrional relativement aride, qui coïncide avec les paysages de steppe sahélienne ; un domaine méridional plus humide, où apparaissent les savanes arborées. La frontière entre ces deux domaines correspond approximativement à l'isohyète 550 mm. Une autre transition, plus ténue, se manifeste vers 13°20′ N (environ 650 mm de pluviosité) par l'apparition d'espèces à affinités franchement soudanaises.

D'autres classifications climatiques que celle d'AUBREVILLE s'adaptent mieux à cette région et aux limites écologiques qu'une observation attentive de la végétation permet de saisir. Celle de RICHARD-MOLLARD (1959) semble bien tenir compte de ces limites. Elle subdivise la Haute-Volta en trois zones :

— Zone de climat sahélien : $P < 500$ mm

— Zone de climat nord soudanien : $500 < P < 1\,000$ mm

— Zone de climat sud soudanien : $P > 1\,000$ mm

La dernière zone effleure à peine mon domaine d'étude (cf. fig. 4). Aussi, lorsqu'il sera question dans ce texte de zones climatiques, emploierai-je la terminologie, abrégée mais évocatrice pour tous ceux qui ont parcouru ces régions d'Afrique, de zone sahélienne et de zone soudanaise.

La densité des points d'observation météorologique est faible, particulièrement dans le Nord où le tracé des isohyètes est très incertain. Nous ne disposons que de deux stations fournissant des données complètes : DORI et FADA N'GOURMA. Celles-ci sont cependant bien

situées et, en ce qui concerne les données autres que pluviométriques, je me référerai à la station de Dori pour les toposéquences septentrionales et à celle de Fada N'Gourma pour les toposéquences méridionales.

A. PRINCIPALES GRANDEURS CLIMATIQUES

1. La température

Les variations des températures moyennes et extrêmes au long de l'année sont analogues dans toute la Haute-Volta orientale. On observe deux maximums en début et en fin de saison sèche et deux minimums en décembre-janvier et en août, mois le plus humide. Du nord au sud, on constate une atténuation des maximums de mars-avril et d'octobre-novembre, de l'amplitude thermique annuelle ainsi que des écarts thermiques quotidiens.

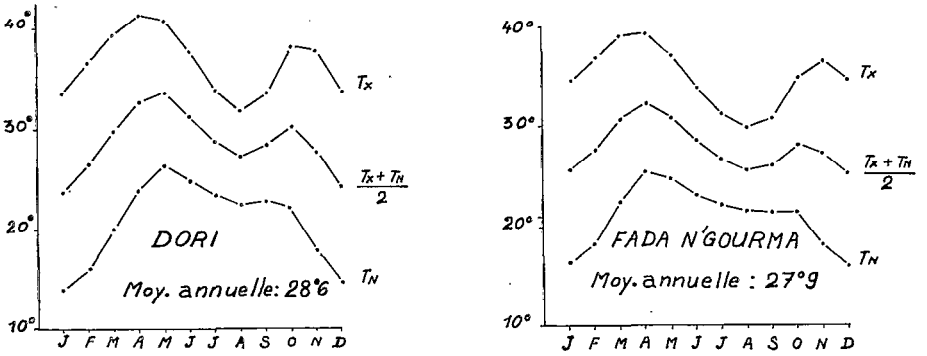


FIG. 3. — Variation de la température au cours de l'année.

2. La pluviosité

La pluviosité est le facteur climatique le plus important à la fois par la hauteur d'eau annuelle et par l'étalement de la saison des pluies. Elle influe sur la longueur du cycle végétatif des plantes, mais aussi sur la percolation et les possibilités de drainage des sols. La pluviosité annuelle moyenne passe de moins de 500 mm au Nord à un peu plus de 1 000 mm à la frontière du Togo, la durée de la saison des pluies de 3 à 4,5 mois. Le gradient pluviométrique Nord-Sud est en moyenne de 100 mm de pluviosité pour 100 km (cf. fig. 4).

Tableau II. — VARIATIONS INTERANNUELLES DE LA PLUVIOSITÉ.

	Markoye	Dori	Fada N'Gourma	Pama
Période	1955-64	1934-60	1935-60	1950-64
Normale	491 mm	540 mm	889 mm	1039 mm
Maximum de la période	686	784	1314	1258
Minimum de la période	319	402	569	661
Pluviosité de fréquence 1/5 max.		611	1016	
Pluviosité de fréquence 1/5 min.		463	756	

Les histogrammes pluviométriques sont dissymétriques, la saison des pluies s'installant avec plus de lenteur et d'irrégularité qu'elle ne se termine. L'étalement de la saison-humide vers le Sud est principalement dû à une plus grande précocité des pluies. Les précipitations sont liées le plus souvent à des perturbations orageuses avec grains forts, particulièrement en

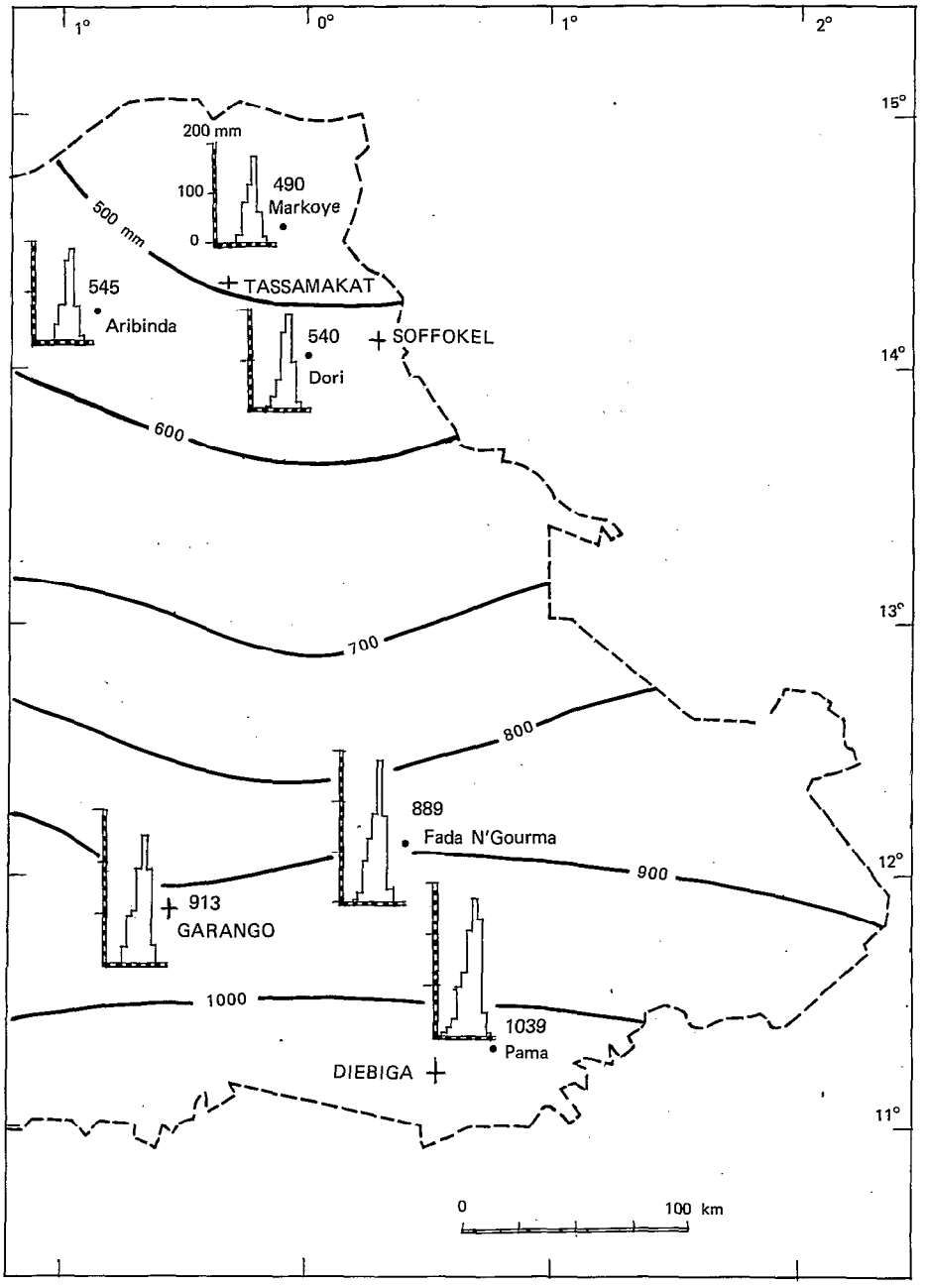


FIG. 4. — Isohyètes Asecna 1966. Histogrammes pluviométriques.

début et en fin de saison. Elles sont donc violentes, brèves, agressives et ne prennent que rarement, même dans le Sud, un caractère de pluies de mousson abondantes mais régulières. Les hauteurs d'eau quotidiennes peuvent être élevées, atteignant parfois plus de 50 mm, même

en zone sahélienne ; on note les maximums absolus suivants (ASECNA, 1966) : Pama, 163 mm (1959), Fada N'Gourma, 135 mm (1958), Dori, 90 mm (1963).

Les variations interannuelles de la pluviosité sont considérables particulièrement dans les régions méridionales. L'effet défavorable de cette irrégularité est d'autant plus grave pour la végétation que la normale est plus faible.

En 1971, année au cours de laquelle ont été effectuées les mesures d'humectation utilisées dans cette étude, la pluviosité fut de 426 mm à Dori, 926 mm à Garango, 799 mm à Pama. L'année fut donc normale à Garango mais fortement déficitaire à Dori et à Pama. Ceci diminue évidemment la portée des mesures hydriques faites dans les toposéquences septentrionales (Tassamakat et Soffokel), aucune mesure n'ayant pu être faite à Diébiga proche de Pama.

3. Humidité et pouvoir évaporant de l'air

L'humidité relative est basse pendant la saison sèche, inférieure à 50% de novembre à mai à Dori, de novembre à avril à Fada N'Gourma. L'amélioration hygrométrique précède la saison des pluies, annonçant la remontée vers le nord des masses d'air humide. Le maximum se situe pendant le mois le plus pluvieux.

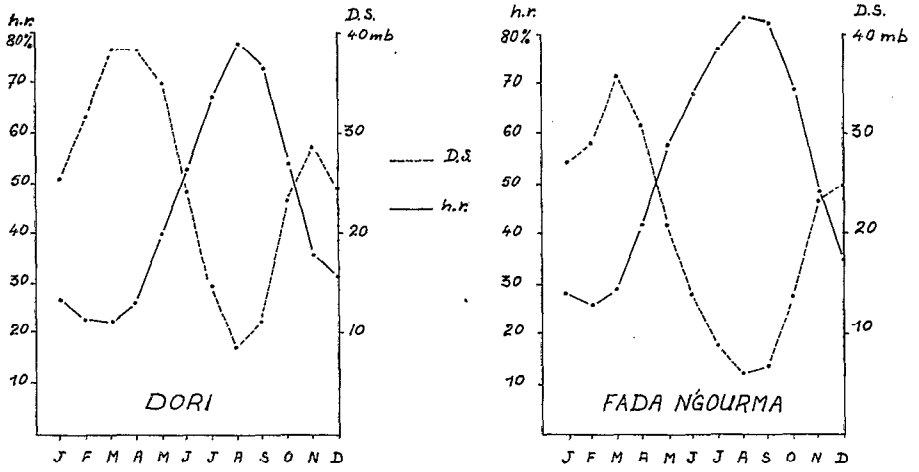


FIG. 5. — Humidité relative et déficit de saturation.

Si les périodes de siccité atmosphérique diffèrent peu entre Dori et Fada N'Gourma, l'intensité de celle-ci est nettement plus accentuée à Dori. Elle détermine une évaporation beaucoup plus forte dans le Nord, en particulier pendant la saison sèche.

Tableau III. — ÉVAPORATION PICHE.

	Dori	Fada N'Gourma
maximum (mars-avril)	438,5 mm	284,9 mm
minimum (août-sept.)	93,5 mm	54,7 mm
Total annuel	3.359 mm	2.067 mm

B. LES DONNÉES CONNUES SUR LE RÉGIME HYDRIQUE DES SOLS

La connaissance du régime hydrique des sols est essentielle à l'étude des mécanismes actuels qui régissent leur évolution. Le régime hydrique dépend en premier lieu du climat : abondance et intensité des précipitations, température, humidité atmosphérique... La topographie intervient par son influence sur le ruissellement et les mouvements obliques de l'eau à l'intérieur du sol. Les propriétés physiques du sol (perméabilité, capacité de rétention) et la végétation (évapotranspiration, perméabilité) jouent également un rôle capital dans le cheminement des eaux de pluie. La plupart de ces facteurs sont mesurables, mais il n'est pas encore possible de les faire tous intervenir dans l'évaluation du bilan hydrique des sols.

Deux solutions se présentent pour l'étude de ce bilan hydrique :

— Réalisation de mesures directes de l'humidité des sols ou de la quantité d'eau qui percole à travers eux, dans des dispositifs expérimentaux ou sur le terrain.

— Utilisation de formules faisant intervenir des grandeurs climatiques et établies à partir de données hydrologiques et des résultats des dispositifs expérimentaux ci-dessus. Ces formules sont imparfaites, mais permettent une utile approche du problème et des comparaisons avec d'autres régions géographiques.

1. Mesures directes

Mesures d'humidité

Les mesures les plus simples consistent à doser l'humidité du sol à différentes profondeurs et à diverses périodes de l'année. On obtient ainsi des profils hydriques successifs. Ces mesures permettent de suivre la progression du front d'humectation en début de saison humide, de délimiter les périodes où le sol draine au-dessous d'une certaine profondeur, de suivre après les dernières pluies la dessiccation du profil. Elles sont insuffisantes cependant pour l'établissement d'un bilan lorsqu'il y a drainage, car on ignore l'importance de ce dernier. Des études de ce type ont été menées de façon très complète au Tchad par Audry (1964-1967), au Sénégal par Charreau (1961), en Haute-Volta par Birot *et al.* (1970-71). D'autres, moins détaillées mais également très fructueuses, ont été effectuées par Clavaud (1967) et utilisées par Bocquier (1971) au Tchad.

Ainsi, dans un sol ferrugineux tropical développé sur un matériau d'altération kaolinique ancien et situé aux environs de Ouagadougou (pluviosité de l'année 810 mm), Birot et Galabert (1970) montrent qu'en l'absence de végétation, l'eau de gravité ($pF < 3$) n'atteint la profondeur de 120 cm qu'en fin octobre et pour très peu de temps, tandis que sous végétation (Eucalyptus), elle ne dépasse pas 70 cm.

Il ne m'a pas été possible, pour des raisons matérielles d'effectuer de telles mesures de façon répétée ; une campagne menée en fin août 1971 m'a cependant permis de déterminer l'état d'humectation de la majeure partie des sols étudiés dans ce travail durant la seconde moitié de la saison des pluies. Pour insuffisante qu'elle soit, cette connaissance n'en constitue pas moins un réel progrès par rapport à l'ignorance totale où l'on se trouvait du régime hydrique de la majeure partie de ces types de sols. Elle permettra d'étayer un certain nombre d'hypothèses de travail (voir chap. VI). Il est évident que ces mesures devront être étalées sur l'ensemble des saisons et répétées sur plusieurs années pour être concluantes.

Mesures d'écoulement

Les mesures d'écoulement nécessitent la mise en place de dispositifs spéciaux dont le plus ancien est la case lysimétrique. Elle permet de mesurer le drainage vertical d'un sol et de suivre ses variations en fonction de la pluviométrie. Par différence et en tenant compte de

la capacité de rétention du sol pour l'eau, il est possible de déterminer l'évapotranspiration au, cours des diverses périodes végétatives et pour l'année. Douze cases lysimétriques fonctionnent depuis 1951 à la station I.R.A.T. de Bambey (Sénégal) et nous donnent de précieux renseignements pour un nombre de sols malheureusement très limité. Voici quelques résultats de drainage et d'évaporation obtenus à Bambey par Bonfils *et al.* (1962).

Tableau IV. — Drainage et Évapotranspiration mesurés en case lysimétrique a Bambey.

Pluviosité de l'année	Drainage : D Évapotranspiration : E	Sol très sableux (95 % de sable) moyenne sur 4 cases	Sol sableux (90 % de sable) moyenne sur 4 cases
466 mm	D	22 mm	15 mm
	E	444 mm	451 mm
603 mm	D	82 mm	87 mm
	E	521 mm	516 mm
867 mm	D	261 mm	274 mm
	E	606 mm	593 mm

Il est bien évident que ces résultats ne sont pas applicables aux sols argileux à forte capacité de rétention et à perméabilité faible, pour lesquels nous ne possédons aucune donnée. Par ailleurs, par leur conception même, les cases lysimétriques éliminent le ruissellement et les apports ou pertes par drainage oblique. C'est là une grave lacune pour les études de pédogenèse, ces deux facteurs pouvant jouer un rôle important dans la dynamique du sol.

De façon à étudier simultanément le drainage oblique et le ruissellement, Roose (1968) a mis au point un dispositif destiné à recueillir et mesurer séparément le ruissellement et l'eau s'écoulant obliquement à divers niveaux du profil. L'interprétation des résultats obtenus à partir de ce dispositif (appelé case ERLO) est toutefois délicate. En effet, des considérations théoriques, vérifiées expérimentalement, montrent (Audry, com. or.) que seule l'eau saturante peut être récoltée dans ces conditions ; l'eau libre, qui pourtant circule, sous l'effet de la pesanteur, dans le milieu sol, ne peut s'écouler à l'air libre, car son énergie libre est diminuée par les forces de succion.

L'étude de la circulation oblique de l'eau selon cette méthode, associée à des études lysimétriques, a été effectuée par Roose et Birot (1970) en Haute-Volta, dans la région de Ouagadougou, sur des sols ferrugineux tropicaux développés sur altération kaolinique ancienne. Bien que ces sols soient différents de ceux que l'on envisage dans cette étude, il est intéressant de citer les premiers résultats.

L'écoulement vertical, mesuré en case lysimétrique à sol non perturbé est nul, quel que soit le niveau considéré (30, 60, 90 cm). L'écoulement oblique est très faible et a atteint 48 l en 1968 (Pluviosité : 809 mm) pour un front vertical de 2 × 2 m. Il fut nul en 1969 (Pluviosité : 759 mm). Le ruissellement n'a atteint respectivement que 2,96 % et 2,26 % de la pluviosité au cours des mêmes années. Il faut toutefois préciser que les parcelles d'érosion ont été préservées des feux et du pacage, ce qui limite notablement le ruissellement par rapport aux conditions normales. Ainsi, les mêmes auteurs signalent que le ruissellement atteint 15 % sous culture traditionnelle sur le même type de sol avec des pentes également faibles (< 1 %).

L'absence d'écoulement vertical, même aux profondeurs faibles, tandis que les mesures d'humidité montrent que l'eau de gravité peut atteindre, dans la même région et sur les mêmes sols, 70 cm de profondeur sous végétation (Birot *et al.*, 1970), confirme les réserves émises par Audry (com. or.) quant à la nature de l'eau recueillie avec de tels dispositifs : l'eau peut circuler dans le sol sans pour autant pouvoir être recueillie par écoulement à l'air libre.

De ces tentatives de mesure directe du bilan hydrique des sols, nous retiendrons que le drainage, qu'il soit vertical ou oblique, semble faible, dans les sols peu perméables de moyenne Haute-Volta. L'essentiel des eaux de pluie est évapotranspiré, une part variable mais assez faible est ruisselée, le reste permet la reconstitution des réserves hydriques du sol. Nous verrons toutefois, à la lumière des observations morphologiques, mais aussi des quelques mesures hydriques réalisées, qu'il n'en est pas toujours ainsi et que la différenciation pédologique modifie et finit même par commander le cheminement de l'eau dans le sol. Ainsi montrera-t-on que, dans certaines toposéquences, la dynamique oblique de l'eau est capitale, tandis que, dans d'autres, elle est discrète.

2. Le bilan hydrique calculé

Une estimation analytique des besoins en eau des plantes à partir de données climatiques fut recherchée depuis longtemps par les bioclimatologues. Les premiers travaux concernèrent le calcul de l'évapotranspiration potentielle (E.T.P.) qui est « la perte d'eau totale en phase gazeuse d'un couvert végétal abondant largement alimenté en eau » (Bouchet, 1961). On dispose ainsi pour ce calcul des formules de Thornthwaite (1948), de Penman (1948), de Turc (1953-1961). L'évapotranspiration potentielle, notion bioclimatique, est intéressante pour l'évaluation des besoins en eau des cultures irriguées, mais aussi pour la détermination des périodes de l'année où les conditions naturelles de vie des végétaux sont optimum. On peut ainsi constater (Tableau V) que la hauteur d'eau mensuelle n'est supérieure en moyenne à l'E.T.P. que pendant un mois à Dori et 3 mois à Fada N'Gourma.

Il n'est guère possible de déduire de ces calculs le régime hydrique du sol. Un grand progrès fut réalisé grâce aux formules d'évapotranspiration réelle en sol nu et sous culture établies par Turc (1953) à l'aide des données climatiques, des résultats obtenus en case lysimétrique et des résultats d'études hydrologiques de grands bassins fluviaux. L'évaluation mois par mois du drainage et du déficit de saturation du sol sont dès lors possibles. Ces formules furent testées à la station I.R.A.T. de Bambey (Sénégal), sous un climat comparable à celui de la Haute-Volta orientale (voir pluviosité de Bambey au tableau IV), grâce aux résultats des cases lysimétriques (Bonfils *et al.*, 1962). Une corrélation très hautement significative fut obtenue entre le drainage calculé et le drainage mesuré sous culture.

Tableau V : E.T.P., E.T.R. et drainage calculés (TURC).

Mois	Pluviosité		E.T.P. TURC		Évaporation Sol nu		Drainage Sol nu	
	Dori	Fada	Dori	Fada	Dori	Fada	Dori	Fada
Janv.	0,2 mm	0,1 mm	188 mm	186 mm	3,2 mm	3 mm	0 mm	0 mm
Fév.	1,1	0,8	230	204	4,1	3,9	0	0
Mars	1,3	6,2	241	219	4,3	9,3	0	0
Avr.	4,2	20,2	231	184	7,2	20,7	0	0
Mai	23,6	80,8	211	167	23,6	72,9	0	0
Juin	57,7	125,9	173	156	56,4	97,4	0	0
Juil.	153,2	172,4	156	138	104,2	102,9	0	51,7
Août	189,2	283,2	145	135	108,6	108,6	44,4	129,6
Sept.	94,7	169,9	159	138	93,6	101,1	27,7	94
Oct.	14,7	26,9	165	161	53,9	57,0	0,4	11,9
Nov.	0	1,3	188	162	6	12,9	0	0
Déc.	0	1,0	176	169	3	3,9	0	0
Total	539,8	888,7	2.263	2.019	468,1	593,6	72,5	295,2

En l'absence de données sur la végétation, on doit se contenter de calculer l'évaporation du sol nu qui, lorsque l'E.T.P. est élevée et l'alimentation en eau suffisante, est nettement inférieure à l'évapotranspiration sous végétation (TURC, 1961). On obtient ainsi à la fois l'évaporation et le drainage annuels en sol nu. Ce dernier atteint 72 mm d'eau à Dori et 295 mm à Fada N'Gourma. Ces valeurs sont supérieures à la réalité puisque le sol est partout couvert par la végétation naturelle ou les cultures. Une meilleure approche du drainage réel peut être obtenue en admettant que l'évapotranspiration réelle est égale à l'E.T.P. pendant les mois où la pluviosité est supérieure à cette valeur. Le drainage annuel sous végétation, estimé de cette façon, serait nul à Dori et de 197 mm à Fada N'Gourma.

Toutes ces estimations sont calculées pour des sols bien drainants. Ainsi, la bonne concordance obtenue à Bambey, entre le drainage calculé et le drainage mesuré, le fut sur des sols sableux (90 % de sable minimum). Nous ne savons toujours rien sur les sols argileux peu perméables. Les études de HENIN *et coll.* (1944) aboutirent à l'établissement d'une expression analytique du drainage annuel. Mise en relation ultérieurement par AUBERT et HENIN (1945) avec les divers types de sols et leur répartition en fonction de la pluviosité, elle fut ensuite aménagée pour tenir compte de la perméabilité du sol (AUBERT, 1946). Les résultats obtenus furent également testés à Bambey, toujours sur sols sableux, et présentent une corrélation très hautement significative avec le drainage annuel mesuré (BONFILS *et al.*, 1962). Le drainage ainsi calculé en faisant intervenir la perméabilité est donné dans le tableau VI pour Dori et Fada N'Gourma.

Tableau VI. — DRAINAGE ANNUEL HENIN-AUBERT.

	Dori	Fada N'Gourma
Sols sableux perméables	67 mm	248 mm
Sols argileux peu perméables	18 mm	79 mm

On constate que les valeurs obtenues pour les sols perméables sont légèrement inférieures à celles fournies par la formule de TURC en sol nu. Celles concernant les sols peu perméables sont environ quatre fois plus faibles, mais on ne sait quelle crédibilité leur accorder en Afrique de l'Ouest. Ces résultats seront reconsidérés ultérieurement (chap. VI) à la lumière de l'étude des profils hydriques.

On soulignera toutefois dès maintenant que toutes ces expressions analytiques du drainage et de l'évapotranspiration réelle ne tiennent pas compte, de par leur mode d'établissement, du ruissellement ni du drainage oblique. En effet, nous avons déjà vu que les cases lysimétriques éliminent le ruissellement et le drainage oblique, étant conçues pour que toute la pluie s'infiltre verticalement. Les études de bilans hydrologiques effectuées sur de grands bassins versants s'appuient sur des mesures de débits de fleuves qui récoltent à la fois l'eau de ruissellement et, après un itinéraire plus ou moins complexe, les eaux infiltrées qui n'ont pas été évapotranspirées. Ces deux modes de cheminement des eaux de pluie ne sont pas distingués lors de l'établissement de ces formules. Par contre, lorsque l'on considère le régime hydrique de profils situés sur un versant, le ruissellement peut intervenir notablement pour priver les sols de haut de pente d'une partie des précipitations et suralimenter ceux du bas de pente. Il en est de même pour le drainage oblique interne.

C. RUISSELLEMENT ET ÉROSION

L'érosion hydrique se manifeste de diverses façons sur le terrain :

— L'érosion en nappe est le résultat de l'écoulement laminaire ; elle entraîne les éléments fins préférentiellement, laissant les sables grossiers à la surface du sol.

— L'érosion avec décapage généralisé à micro-gradins. Ce mode d'ablation entaille légèrement la surface du sol sur quelques millimètres à quelques centimètres par affouillement et délimite des micro-falaises suivant plus ou moins les courbes de niveau. Il est favorisé par les phénomènes d'encroûtement et de glaçage du sol, mais aussi par la différenciation d'horizons superficiels qui contrastent fortement avec l'horizon sous-jacent du point de vue texture, structure et cohésion.

— L'érosion en rigoles résulte de l'écoulement linéaire plus ou moins hiérarchisé qui creuse des sillons. L'érosion en ravines en est une forme accentuée.

Comme pour le bilan hydrique, nous disposons de deux groupes de méthodes pour évaluer l'érosion, les unes directes, les autres analytiques.

Les méthodes directes mettent en œuvre des cases d'érosion qui recueillent l'eau ruisselée et sa charge solide sur une surface donnée. Les résultats sont très variables en fonction de l'utilisation du sol. Le tableau VII, extrait de ROOSE et BIROT (1970 p. 40) nous en donne une idée pour la zone médiane de la Haute-Volta (région de Ouagadougou).

Tableau VII. — RUISSELLEMENT, 1968 ; PLUV. = 810 mm.

	Érosion kg/ha/an	coef. de ruiss. moyen annuel %	coef. de ruiss. maximum %
Culture en billons selon la plus grande pente	2.527	12,64	69,7
Culture à plat traditionnelle	1.558	15,06	38,3
Sol nu	2.728	—	—
Savane arborée	150	2,96	8,16

Dans le Nord du pays, nous ne disposons d'aucunes données autres qu'hydrologiques. BRUNET-MORET (1964) montre que le ruissellement, calculé à partir de la pluviosité de l'année et du débit des cours d'eau temporaires, varie entre 2,75 % et 6 % de la pluviosité. A l'échelle du versant, il est probablement nettement plus élevé. En effet, l'infiltration et l'évaporation sur le trajet des axes de drainage et en particulier dans les zones marécageuses, fort abondantes dans ces régions très plates, limitent d'autant le débit aval des exutoires. Nous verrons que dans ces mêmes régions, l'érosion joue un rôle important dans la succession des types de sols au long des versants, mais qu'elle est en cela guidée par la différenciation des horizons superficiels (voir p. 71).

Les méthodes analytiques sont moins nombreuses que celles concernant l'évapotranspiration. En dehors de l'équation de WISCHMEIER (1959), qui est hors de notre portée car elle fait intervenir des données que nous n'avons pas, nous ne disposons que de la formule de FOURNIER (1958), qui nous donne une estimation de l'érosion en tonnes/km²/an à l'échelle des grands bassins. Cette formule utilise la pluviosité du mois le plus arrosé et celle de l'année. On obtient ainsi une ablation de 1 300 t/km²/an à Dori et de 1 970 t/km²/an à Fada N'Gourma soit respectivement 13 000 et 19 700 kg/ha/an. Ces valeurs sont 5 à 10 fois supérieures à celles mesurées dans les plus mauvaises conditions en case d'érosion à Ouagadougou et n'ont finalement que peu de signification à notre échelle, qui est celle du versant.

En conclusion, le ruissellement et l'érosion apparaissent éminemment variables en fonction de nombreux facteurs tels que l'utilisation du sol, le type de végétation naturelle, les propriétés physiques du sol, l'abondance et la répartition des pluies... Ils sont difficiles à évaluer en l'absence de mesures directes répondant à chaque cas particulier et leur rôle dans la différenciation des sols ne pourra être considéré dans ce qui suit que de façon qualitative.

V. LES CLIMATS ANCIENS ET LEUR HÉRITAGE PÉDOLOGIQUE

A. GÉNÉRALITÉS ET INTERPRÉTATIONS PALÉOCLIMATIQUES TIRÉES DES DONNÉES GÉOLOGIQUES

La réalité des variations climatiques anciennes dans la bordure méridionale du Sahara apparut très tôt aux voyageurs scientifiques, qu'ils aient été géologues (HUBERT, 1920 ; CHUDEAU, 1921) ou militaires de métier, mais naturalistes par goût (TILHO, 1910-1914 ; URVOY, 1942). Ce sont les traces des périodes arides qui sont les plus manifestes. En effet, de vastes ergs fixés couvrent une large part de la zone sahélienne, et s'il faut parfois un œil averti pour reconnaître les plus anciens, les ergs récents, par leur modelé encore affirmé, évoquent dès l'abord un paysage désertique, qui aurait été colonisé par la steppe ou la savane. Les manifestations des périodes humides sont moins évidentes, ou tout au moins plus localisées. C'est, au Niger, l'immense réseau de larges vallées mortes de l'Azaouak, qui parvient jusqu'au fleuve Niger par l'intermédiaire du Dallol Bosso (cf. fig. 8). Ce sont aussi les formations sédimentaires lacustres (diatomites, tourbes) que l'on trouve en bordure sud du désert au Niger, en Mauritanie, au Tchad et même au Sahara (FAURE, 1962-1966 ; TROMPETTE *et al.*, 1967 ; SERVANT, 1973).

L'histoire climatique du quaternaire africain récent, reconnue par les précurseurs, s'enrichit progressivement en étapes supplémentaires et l'on aboutit à des chronologies relatives de plus en plus complètes. L'avènement des datations au C14 permit de passer aux chronologies absolues en même temps que des recherches limnologiques approfondies, principalement axées sur le lac Tchad, affinaient encore la connaissance des variations climatiques depuis 40 000 ans.

La courbe de la figure 6, tirée de M. SERVANT (1973) nous donne une récente synthèse de ces derniers progrès. Elle situe dans le temps les périodes humides datées par les dépôts lacustres et délimite par la même occasion les phases arides reconnues grâce aux sédiments éoliens intercalés. Cependant, si les remaniements éoliens sont attribuables sans conteste à des périodes arides, les extensions lacustres peuvent résulter d'une augmentation de la pluviosité, d'une réduction de l'évaporation, d'un accroissement du ruissellement ou, plus généralement, de plusieurs de ces facteurs combinés. M. SERVANT étudie minutieusement l'influence respective des divers facteurs susceptibles d'influer sur le niveau des nappes d'eau phréatiques ou libres. La nature des dépôts des lacs de piedmont ou d'interdune renseigne sur les types d'écoulements superficiels affectant les versants ; ainsi, des sédiments exclusivement biochimiques, quelle que soit leur distance des rives, indiquent un ruissellement faible et peu agressif. La présence de diatomées cryophiles et, dans une moindre mesure, l'abondance des dépôts calcaires, trahissent l'existence de périodes relativement froides. L'influence du couple pluviosité-évaporation est isolée de celle des apports latéraux par ruissellement grâce à l'étude, pour chaque période, de la relation entre l'épaisseur des nappes d'eau lacustres et la surface des bassins versants correspondants. L'indépendance de ces deux facteurs minimise l'influence des apports par ruissellement et confère un rôle majeur à la pluviosité et à l'évaporation. C'est vraisemblablement ce qui s'est passé lors de la principale période humide du Nigéro-Tchadien (8 000-9 000 ans B.P.).

Les études limnologiques ne permettent pas cependant de séparer la pluviosité de l'évaporation de l'eau libre, qui interviennent conjointement pour régler le niveau des lacs. C'est pourquoi SERVANT utilise le rapport Pluviosité/Évaporation de l'eau libre comme indice d'aridité (ou d'humidité). Or, les principales périodes humides de la fin du Pleistocène et de l'Holocène ancien coïncidaient avec des périodes fraîches (cf. fig. 6) et correspondaient de ce fait à des époques où l'évaporation était plus faible que de nos jours. Ceci contribuait pour une part inconnue à la remontée du niveau des nappes. Aussi, l'importance des accroissements de la pluviosité lors de ces phases humides est-elle difficile à préciser, voire contestable.

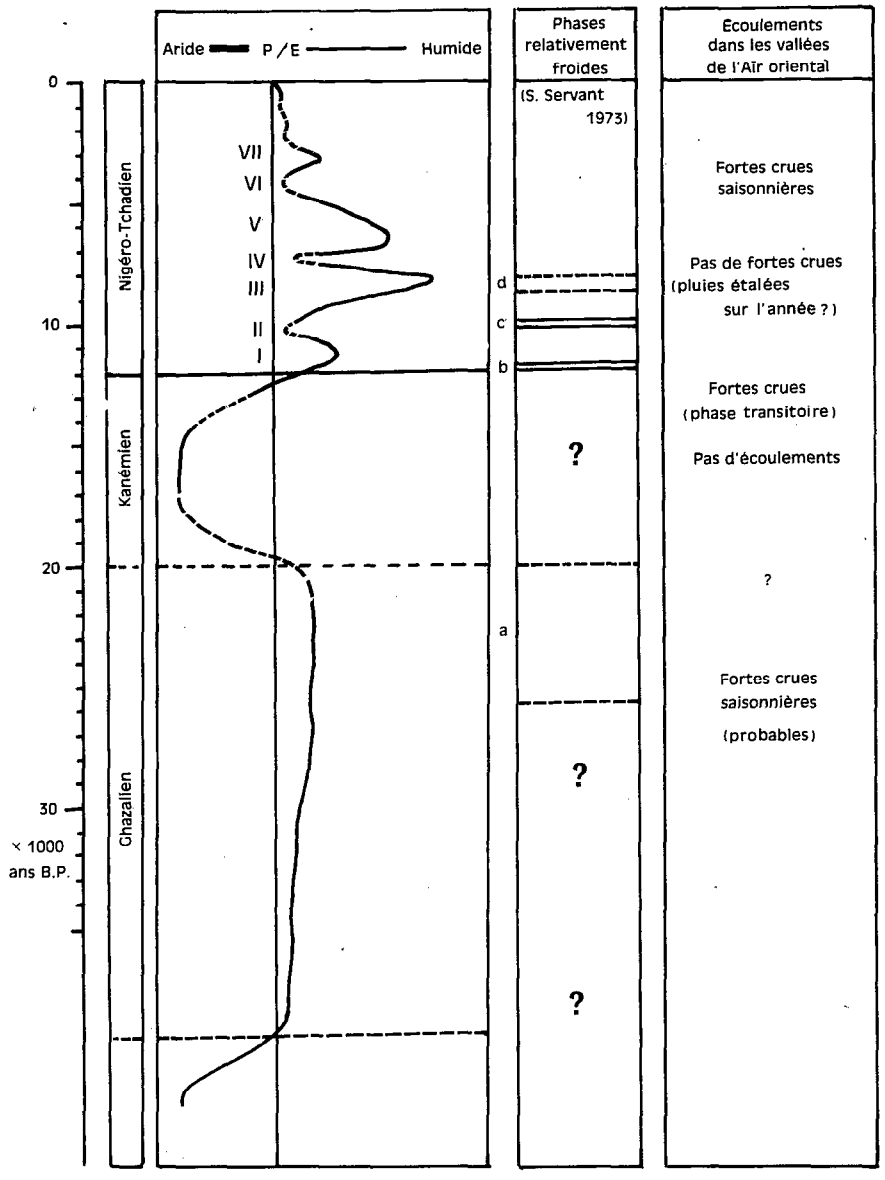


FIG. 6. — Évolution des rapports P/E, localisation des périodes à diatomées cryophiles (d'après S. SERVANT, 1973) et évolution des écoulements superficiels dans l'Aïr au cours des quarante derniers millénaires — Tiré de M. SERVANT, 1973, p. 62.

L'étude des écoulements dans les vallées de l'Aïr oriental apportent alors un complément précieux. Si les sédiments fluviatiles sont moins aisément datables que les dépôts lacustres (avec lesquels ils peuvent toutefois être corrélés), ils apportent des informations complémentaires sur le type et l'importance des écoulements superficiels aux diverses périodes. En effet, les distances de transport à partir du massif renseignent sur l'abondance des écoulements.

La granulométrie des sédiments, lorsqu'elle est uniformément fine, permet de conclure à l'absence d'écoulements brutaux, donc à une pluviosité régulière et bien répartie, lorsqu'elle est au contraire hétérogène, elle reflète un régime de crues saisonnières et des pluies groupées.

La physionomie des variations paléoclimatiques au cours des 40 derniers millénaires dans la région nigéro-tchadienne, se dessine ainsi de façon beaucoup plus précise qu'auparavant.

Après une période aride antérieure à 40 000 ans et qui échappe donc à la datation au C 14, se situe le Ghazalien (40 000-20 000 ans B.P.), un peu plus humide que l'époque actuelle, à précipitations groupées, orageuses, à température relativement fraîche. Lui succède le Kanémien aride (20 000-12 000 ans B.P. ; aridité maximum 18 000-14 000 B.P.). Puis vient le Nigéro-tchadien avec ses alternances de périodes humides et plus sèches (qui toutes sont estimées par SERVANT plus humides que l'actuelle). Les phases humides du début du Nigéro-tchadien (I et III) et particulièrement la seconde présentent une grande originalité par leur régime de pluies étalées, régulières, peu érosives. Ce n'est qu'ensuite, à partir de 7 000-7 500 ans B.P., que s'installe le climat de type tropical contrasté actuel.

Vers l'Ouest, les sédiments quaternaires datables se raréfient, si bien qu'aucune étude approfondie comparable à celle de SERVANT n'a été entreprise. Pourtant, de grands fleuves morts témoignent de l'existence par le passé de périodes humides. Ainsi, le réseau de l'Azaouak sillonne le Nord Niger, effleure le Mali oriental, traverse le Niger occidental où son cours principal rejoint le fleuve Niger sous le nom de Dallol Bosso. Aucun écoulement ne s'y observe actuellement sauf, lors des pluies exceptionnelles, au débouché des massifs de l'Aïr et du Hoggar (DUBIEF, 1963 ; LEFEVRE, 1961). Pourtant, il possède des lits larges parfois de plusieurs kilomètre et ses alluvions argileuses récentes, au moins en partie néolithiques à l'amont (JOULIA, 1960), forment des flats immenses. Ces alluvions vont de l'Aïr jusqu'aux environs de Filingué (fig. 8), soit une distance de près de 1 000 km.

Les ergs fixés au contraire jalonnent les avancées du désert vers le Sud et forment une ceinture pratiquement continue. Ils seront à nouveau évoqués plus loin.

Ce n'est qu'au Sénégal et en Mauritanie que l'on retrouve une chronologie détaillée des événements paléoclimatiques du quaternaire récent. La proximité de l'océan permet de plus de les relier aux fluctuations du niveau marin. Cette chronologie, dont les étages peuvent être corrélés avec les phases majeures mises en évidence au Tchad, est toutefois moins riche que celle établie par SERVANT, soit que les fluctuations climatiques aient été atténuées par la proximité de la mer, soit que la stratigraphie en soit incomplète.

Le niveau daté le plus ancien est l'Inchirien supérieur transgressif (cf. fig. 7). Il correspond à la base du Ghazalien du Tchad. L'Ogolien coïncide parfaitement avec le Kanémien. Le Nouakchottien est à rattacher au Nigéro-tchadien V. Les fluctuations antérieures à 40.000 ans B.P., bien que non datées, conservent un grand intérêt pour localiser de façon relative les sédiments éoliens les plus anciens.

Étages	Mouvement de la mer	Climat aride — humide
Nouakchottien (5 500 ans)	Transgression	
Ogolien (20 000 ans ?)	Régression	
Inchirien supérieur (> 31 000 ans)	Transgression	
	Régression	
Inchirien inférieur	Transgression (?)	
Ajouerien	Régression	



FIG. 7. — Variation du niveau de la mer et du climat en Mauritanie méridionale, tiré de ÉLOUARD et FAURE, 1967.

B. APPORT DES DONNÉES PÉDOLOGIQUES ET GÉOMORPHOLOGIQUES A LA RECONSTITUTION DES PALÉOCLIMATS

Les ergs fixés couvrent les trois quarts du Niger méridional (GAVAUD et BOCQUIER, 1964 ; BOULET, 1964 ; GAVAUD, 1965), une partie importante du Nord de la Haute-Volta (BOULET, 1968 ; LEPRUN *et al.*, 1969 ; BOULET et LEPRUN, 1969), s'étendent au Mali et au Sénégal (MAIGNIEN, 1965 ; MICHEL, 1969 ; BOULET *et al.*, 1971 ; LEPRUN, 1971). La cartographie pédologique systématique a permis de situer la limite méridionale de ces invasions du désert en Haute-Volta et au Niger (fig. 8).

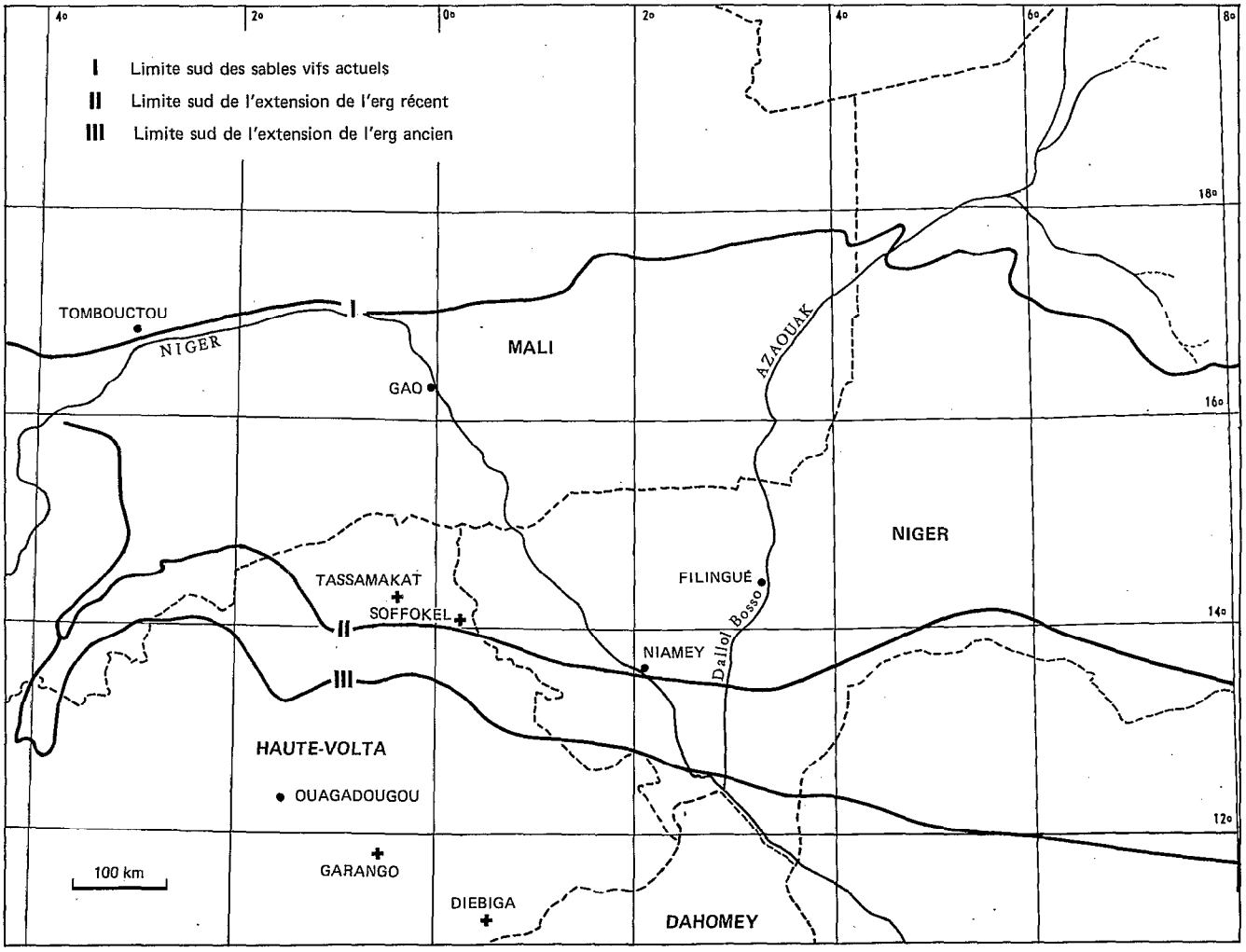


FIG. 8. — Limites méridionales des sables vifs actuels et des formations sableuses éoliennes fixées en Haute-Volta, au Niger et au Mali.

Parmi les ergs fixés, la simple observation morphologique permet de distinguer plusieurs ensembles par l'amplitude et la forme du modelé dunaire. Intuitivement on attribue les édifices les plus aplanis, qui ne couvrent souvent qu'imparfaitement le substrat, à des formations anciennes, les formes juvéniles et épaisses à des formations plus récentes. Mais ceci n'a pas valeur de démonstration car ces variations peuvent être originelles.

Les études pédologiques mirent en évidence des différences importantes entre les degrés de différenciation des sols développés sur ces diverses catégories d'ergs, et l'on reconnut (GAVAUD, 1967b) trois ensembles : « l'erg ancien à formes émoussées et sols à B texturaux ou structuraux, l'erg récent à sols à B de couleur et topographie plus juvénile, les remaniements subactuels à sols peu évolués (AC) souvent anthropiques ». Ces nouveaux arguments militaient en faveur de l'existence de trois formations chronologiquement distinctes, hypothèse étayée par les études de FAURE au Niger oriental (1962) qui avait reconnu et daté principalement deux épisodes arides séparés par une importante période humide (7 000-9 000 B.P.). Mais la corrélation entre les formations stratigraphiques d'origine éolienne reconnues par FAURE et les ergs distingués par les pédologues n'était pas directement établie. La chronologie relative de ces ergs et leur intercalation entre des périodes humides, purent toutefois être montrées par des observations géomorphologiques, et en particulier par l'étude des vicissitudes subies par certains réseaux de drainage périodiquement perturbés par les remaniements éoliens (BOULET, 1967).

En se référant aux courbes climatiques de SERVANT (fig. 6) et d'ÉLOUARD et FAURE (fig. 7), il est possible de situer dans le temps la formation de ces systèmes dunaires de la façon suivante :

— Remaniements éoliens subactuels : légères fluctuations vers l'aride postérieures à 3 000 ans B.P.

— Erg récent : 12 000-20 000 ans B.P.. C'est l'Ogolien de Mauritanie ou le Kanémien du Tchad.

— Erg ancien : $>$ 40 000 ans B.P. Coïnciderait avec la base de l'Inchirien supérieur.

L'existence de périodes arides anciennes sur une grande partie de l'Afrique de l'Ouest est donc bien établie. Les périodes nettement plus pluvieuses que l'actuelle restent par contre discutées (RUELLAN, 1968 ; NAHON et RUELLAN, 1972). Mises à part les extensions lacustres, dont on a vu que l'on peut contester la signification purement pluviométrique, il n'en reste que des preuves indirectes : alluvions des massifs montagneux (SERVANT, 1973 ; JAKEL *et al.*, 1972), vastes cours d'eau morts, variation de l'intensité de la pédogenèse sur les générations successives de dunes. Cette variation montre une évolution croissante des sols avec le temps, mais cette évolution se fait avec des sauts très importants d'un erg à l'autre. Ceci peut être attribué aux périodes humides intercalaires, rien ne prouvant à priori qu'elles étaient plus humides que notre époque, le temps pouvant à lui seul jouer un rôle prépondérant. Toutefois, on a pu reconnaître (BOULET, 1966) la limite septentrionale de l'erg ancien, qui se situe au Niger par 18° de latitude Nord sous moins de 100 mm de pluviosité, et constater qu'il porte encore des sols, tronqués, mais fortement rubéfiés et à différenciation structurale très accentuée. Dans la même région, les sables actuels sont vifs et ne présentent aucune différenciation pédologique. Il faut bien admettre qu'un climat à pluviosité nettement plus forte que l'actuelle fut responsable de cette différenciation.

En conclusion, il est possible d'estimer valablement l'intensité des variations vers l'aride par rapport au climat actuel parce que les limites Sud de ces extensions du désert sont bien connues (fig. 8) et que l'on constate que la bordure méridionale des sables vifs actuels se situe vers l'isohyète 100 mm. Les ordres de grandeur de ces assèchements sont de 6 à 700 mm pour l'erg ancien, de 3 à 400 mm pour l'erg récent. Il est en revanche beaucoup plus difficile d'évaluer l'importance des fluctuations de la pluviosité lors des périodes humides. Sans nous risquer à cette évaluation, nous retiendrons toutefois que les arguments géologiques, géomorphologiques et pédologiques concordent pour appuyer l'hypothèse de l'existence, dans le passé récent, de périodes à pluviosité nettement plus forte que l'actuelle.

C. HYPOTHÈSES SUR LE RÔLE DES VARIATIONS CLIMATIQUES DANS LA DIFFÉRENCIATION DES SOLS DÉVELOPPÉS SUR MATÉRIAU NON ÉOLIEN

Les sols dunaires constituent un matériel de choix pour étudier l'influence pédogénétique des climats passés. En effet, ils ont au plus l'âge des ergs qui les portent (du moins en ce qui concerne les horizons développés dans le matériel éolien) et n'ont enregistré que l'influence des périodes climatiques qui leur sont postérieures. Et cette influence apparaît clairement dans les différences d'évolution entre les sols des formations sableuses successives. Il est par contre plus délicat de déceler, dans l'évolution des sols sur matériau non éolien, la part des périodes climatiques successives. Nous allons voir en effet que ces sols sont anciens et ont probablement commencé à évoluer à une période antérieure à toutes les variations climatiques que l'on vient d'envisager. Les effets de ces variations se sont superposés et ils ont certainement accéléré ou au contraire ralenti le cours de la pédogenèse, allant peut-être jusqu'à le modifier profondément par rapport aux conditions d'évolution actuelles, sans qu'il nous soit généralement possible de le démontrer de façon irréfutable. Deux cas se présentent, déterminés semble-t-il par l'intensité des phases érosives qui ont accompagné les changements de climat.

Au Niger et en Haute-Volta orientale, les sols des versants non ensablés sur substrat cristallin sont minces, inférieurs au mètre. Ils présentent en profondeur une nappe de débris ferrugineux et de galets de quartz d'épaisseur variable mais de l'ordre de 30 cm, sans lien évident avec leur emballage ou les horizons adjacents. Les horizons qui encadrent la nappe de débris sont de nature semblable et comportent les mêmes minéraux résiduels ou argileux (mélange de smectites et de kaolinite). La différenciation de ces sols est peu accentuée et se limite à une ébauche de caractères, soit de sols bruns (subarides ou eutrophes), soit de solonetz. GAVAUD (1967a) attribue cette intercalation d'un niveau graveleux au sein de matériaux argilo-sableux à la phase désertique de l'erg ancien, qui mit en place un reg détritique. La fossilisation de ce reg, par un matériau analogue à celui qu'il surmonte, se serait produite lors de la phase humide suivante et procéderait d'un mécanisme indéterminé. A l'appui de cette interprétation du niveau grossier, nous verrons (fig. 9) que l'erg ancien repose fréquemment sur un lit de 1 à 8 dm de débris ferrugineux et de blocs de quartz, et que ce lit recoupe la base d'un sol légèrement vertique, riche en minéraux altérables résiduels. Les périodes climatiques successives semblent donc s'être fortement inscrites dans la morphologie de ces sols. En contrepartie, tout se passe comme si leur évolution avait été freinée ou en partie effacée par ces remaniements intenses, et il est difficile actuellement d'étudier leur genèse.

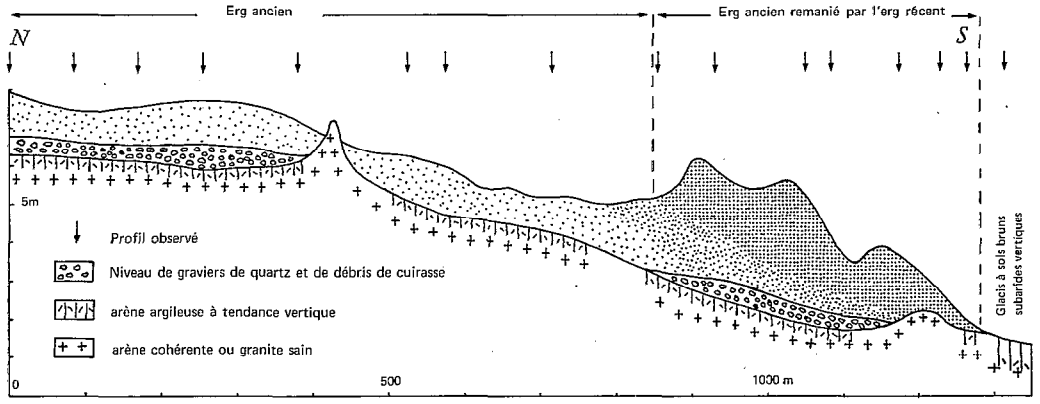


FIG. 9. — Nature du support des ergs.

Lorsque l'on va vers la Haute-Volta centrale et que l'on s'éloigne du fleuve Niger, ces perturbations du profil pédologique s'atténuent puis disparaissent. Les niveaux de débris

et galets se font rares, ils prennent l'aspect de lentilles principalement localisées en bordure des axes de drainage. Les profils sont épais (2 m), bien différenciés, la filiation des horizons est nette. Mais l'expérience nigérienne nous rappelle que, si ces sols ont été préservés, pour des raisons mal connues (rejeu récent des failles bordant le Niger ?), des crises érosives qui ont sévi plus à l'Est, ils n'en ont pas moins subi la même histoire climatique.

L'étude des relations stratigraphiques entre l'erg ancien et ces sols épais et bien différenciés des bas glacis de Haute-Volta montre que ceux-ci sont vraisemblablement antérieurs à cette phase aride majeure, ce qui leur donnerait un âge supérieur à 40 000 ans. Ainsi, une succession de puits creusés dans un cordon dunaire ancien et dans le glacis voisin (cf. fig. 9) montre que les dunes reposent, par l'intermédiaire d'un niveau graveleux discontinu, sur un horizon d'argile arénacée smectitique, parfois calcaire, semblable à la base des sols du glacis adjacent. La continuité entre le matériau situé sous l'erg et celui des sols du glacis n'a pu être vérifiée de façon précise, mais elle est très probable. Exceptionnellement, le sable dunaire repose sur un granite dur à sommet irrégulièrement arrondi, à desquamation en écailles. Il s'agit dans ce cas d'affleurements rocheux ensablés par l'erg ancien et leur mode d'altération nous indique que l'argile smectitique, que l'on observe généralement sous l'erg, est probablement antérieure à ce dernier.

D'autres exemples viennent compléter ces informations sur les relations chronologiques entre les sols des versants et les épisodes arides. Je n'en citerai qu'un, observé à la limite méridionale des ensablements éoliens anciens (fig. 10).

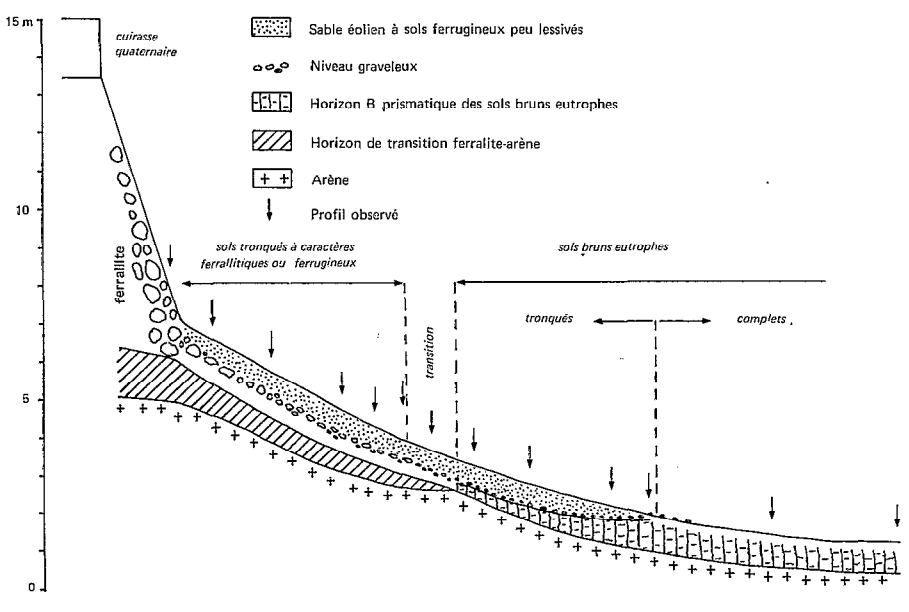


FIG. 10. — Relation stratigraphique entre les sables éoliens anciens et les sols du bas glacis.

Une butte témoin cuirassée, située en haut d'interfluve, protège un matériau ferrallitique, relique du manteau d'altération kaolinique ancien. Ce matériau passe à sa base à une arène épaisse mais peu altérée chimiquement. La base des sols développés sur le versant adjacent au knick de la butte témoin recoupe les horizons de ce profil ancien et atteint l'arène vers la mi-pente. Vers le haut de cette toposéquence, les sols développés sur la base du matériau ferrallitique ont des caractères ferrugineux. Plus bas, les sols formés sur l'arène à minéraux frais sont des sols bruns eutrophes vertiques analogues à ceux qui couvrent les interfluves sans butte témoin. Le sommet du versant est recouvert par un voile sableux épais de 1 m environ,

à caractères typiquement éoliens : texture sableuse, sables bien triés, mode de 0,2 mm nettement inférieur au grain de la roche sous-jacente, nombreux sables éolisés. Ce voile sableux repose sur les sols précités, tronqués, par l'intermédiaire d'un niveau détritique à quartz grossiers et débris de cuirasse, dont la taille décroît vers le bas de pente. Les sols bruns eutrophes en particulier sont nettement coupés par ce niveau grossier, qui remonte progressivement dans leur horizon B prismatique lorsque l'on va vers l'aval, pour se résoudre finalement en un pavage superficiel. Cette discordance du niveau détritique sur l'horizon B des sols bruns eutrophes montre bien que ce niveau détritique, puis les sables éoliens, se sont installés sur une entaille creusée dans des sols déjà bien différenciés.

De tout ceci il ressort que l'histoire climatique des sols dont nous allons aborder l'étude est complexe et que, si les profils que nous observons ont été en général peu perturbés par des actions mécaniques, leur genèse n'en a pas moins enregistré l'effet des fluctuations climatiques. Cette homogénéité des profils, que l'on pourra vérifier par maints critères, morphologiques, microscopiques ou analytiques, constitue certes un avantage très favorable à l'étude de la formation de ces sols. Mais, dans nos interprétations, nous devrons garder à l'esprit cette notion d'héritage paléoclimatique, bien que sachant qu'il ne sera pas possible d'en éclairer toute la complexité.

VI. LA VÉGÉTATION, REFLET DU CLIMAT ET DES SOLS

Les fortes variations du climat actuel, qui se manifestent du Nord au Sud de la Haute-Volta orientale, entraînent d'importantes modifications de l'aspect et de la composition floristique de la végétation. La région située au Nord de Dori appartient au domaine des steppes sahéliennes, très caractéristiques en particulier sur les sols argileux où les conditions édaphiques renforcent l'aridité du climat. Vers le Sud, à mesure que s'améliore la pluviosité, apparaissent les savanes arborées, dont la composition, la densité et la taille sont sensibles à la nature du sol dans la zone de transition, puis qui tendent à s'uniformiser dans les régions les mieux arrosées. Les variations climatiques de la végétation sont donc influencées par les conditions édaphiques et ce d'autant plus que le climat est plus rigoureux. L'étude de la végétation nécessite donc que l'on tente de dissocier ces deux facteurs, ce qui n'est pas toujours aisé. Mais on peut ainsi faire apparaître des relations sol-végétation très intéressontes.

A. LES VARIATIONS CLIMATIQUES DE LA VÉGÉTATION

Fortement perturbées par les conditions édaphiques, les variations climatiques de la végétation se manifestent cependant, lorsque le pédoclimat n'est pas trop rigoureux, par l'apparition ou la disparition d'espèces, la modification de la hauteur, de la répartition, de la densité des arbres aussi bien que du tapis graminéen. On distingue du Nord au Sud les domaines suivants : les steppes et savanes arbustives, les savanes arborées claires, les savanes arborées typiques.

1. Les steppes et savanes arbustives

Ce domaine qui s'étend au Nord de l'isohyète 550 mm, est caractérisé par une végétation ligneuse basse, clairsemée, pauvre en espèces. La large prédominance, dans cette partie de la Haute-Volta, des sols argileux peu perméables et riches en bases, fait que la formation

végétale la plus commune est à la fois climatique et édaphique. C'est la ***steppe***[1] ***à épineux*** où dominent les *Acacia (Acacia Seyal, A. adstreingens, A. tortilis. A. senegal)* associés à *Balanites aegyptiaca.* La végétation arbustive est contractée, groupée en bouquets ou, plus souvent, en lignes le long des axes d'écoulement, laissant des espaces dénudés où végète un tapis très discontinu à dominance de *Schoenfeldia gracilis,* associée ou non à *Cymbopogon schoenanthus.* Les ***savanes arbustives*** colonisent les sols plus légers et en particulier les sols sableux de l'erg ancien. Elles se distinguent des steppes par une strate arbustive plus homogène où dominent *Combretum glutinosum, Balanites aegyptiaca,* et, tout au nord, *Commiphora africana.* Le tapis herbacé y est favorisé par un sol plus meuble et perméable, mais reste cependant assez clairsemé et légèrement discontinu en saison sèche. Il comporte principalement *Aristida longiflora, A. mutabilis, Ctenium elegans, Loudetia togoensis...*

2. Les savanes arborées claires

Les savanes arborées claires prennent, vers le Sud, le relais des formations steppiques. Sur substrat homogène, la transition est très progressive et s'effectue sur une vingtaine de kilomètres Nord-Sud. Elle correspond à la fois à une homogénéisation de la strate arborée qui devient plus haute et plus dense et à une diversification des espèces : moindre abondance des épineux, apparition de *Lannea acida, Anogeissus leiocarpus, Poupartia birrea...* Le tapis devient également plus continu, en même temps qu'apparaît *Andropogon gayanus.*

3. Les savanes arborées typiques

Les savanes arborées typiques apparaissent au Nord du 13e parallèle lorsque la pluviosité atteint 650 à 700 mm. Leur strate arborée, plus haute et dense que celle de la précédente formation, devient également moins sensible au facteur sol. Les critères botaniques, si précieux pour déceler les moindres variations pédologiques dans le Nord, deviennent alors plus difficiles à préciser et moins rigoureusement spécifiques.

Les espèces arborées les plus communes sont : *Butyrospermum parkii, Anogeissus leiocarpus, Parkia biglobosa, Bombax costatum, Lannea microcarpa* et *L. acida, Tamarindus indica, Kaya senegalensis, Sterculia setigera.*

Avec les savanes arborées typiques, on entre dans le domaine soudanien caractérisé non seulement par la physionomie de la végétation, mais par l'apparition d'espèces nouvelles, inconnues plus au Nord ; *Crossopterix febrifuga, Acacia gourmaensis, Bridelia micrantha, Terminalia laxiflora, Seccuridaca longipedonculata, Strichnos spinosa, Bauhinia thoningii, Isoberlinia doka,* sont parmi les plus répandues.

Vers le Sud, les savanes se font de plus en plus denses et l'on peut situer une nouvelle limite vers 900 mm de pluviosité, celle des savanes boisées. Aux frontières du Niger et du Dahomey, LEPRUN (1969) a reconnu quelques îlots de forêt claire à *Isoberlinia doka, Afzelia africana.*

B. LES FORMATIONS VÉGÉTALES ÉDAPHIQUES

Ces formations végétales particulières apparaissent lorsque le sol constitue un milieu sélectif et présente des propriétés physiques extrêmes concernant la réserve en eau utile (épaisseur pénétrable par les racines, richesse en sables, graviers et blocs, teneurs en argile) et la perméabilité. Elles peuvent également être liées à des propriétés chimiques du sol (présence

1. Le terme de steppe nécessite d'être précisé car, en Afrique, on l'affecte souvent à des paysages végétaux divers. L'acception d'AUBREVILLE (1949) me semble la plus intéressante, car elle correspond à des formations dont la zonalité climatique est réelle; elle concerne exclusivement la strate herbacée qui est maigre, courte, ***discontinue*** ; la végétation ligneuse est alors en général clairsemée. Cependant, lorsque la strate ligneuse est buissonnante, très dense, presque fermée, bien qu'à tapis herbacé discontinu, la formation prend le nom de bush.

de calcaire ou seulement pH)[1]. De ces formations très variées, nous ne considérerons que les deux plus caractéristiques.

Les ***bushs*** sont associés aux sols gravillonnaires sur cuirasse au nord de l'isohyète 700 mm. Ce sont des formations buissonnantes, basses, denses, souvent difficilement pénétrables. Leur flore est caractérisée par la prédominance de *Pterocarpus lucens* associé à *Combretum micranthum, Dichrostachis glomerata,* divers *Grewia,* des *Acacia* lianescents... La répratition de la strate ligneuse n'est pas homogène, laissant de petites zones nues. Au-delà de 700 mm de pluie, la présence d'éléments grossiers dans le sol ou d'une cuirasse à faible profondeur influe de moins en moins sur la taille et le port de la végétation, qui prend partout l'aspect d'une savane raborée. On note seulement dans ce cas une plus grande abondance de certaines espèces telles que *Gardenia sokotensis* et *G. ternifolia, Combretum nigricans, Acacia macrostachia.*

Les steppes et savanes à épineux : La steppe à épineux à été décrite dans les paragraphes précédents parce que très fréquente et caractéristique de la zone sahélienne à qui elle donne l'essentiel de sa physionomie. Vers le Sud, sur les mêmes sols lourds, compacts, calciques, lui font suite les savanes à épineux riches en *Acacia (Acacia Seyal; A. adstreingens, A. stenocarpa...).* Ceux-ci sont principalement localisés dans la sous-strate arbustive, la strate arborée comportant des espèces non spécifiques présentes dans les autres savanes arborées de la même région. Le tapis est également très caractéristique, riche en espèces neutrophiles : *Schoenfeldia gracilis, Cymbopogon schoenanthus* et, vers le sud, *Aristida hordeacea.* Au-délà de 900 mm, cette formation végétale disparaît et la végétation des sols argileux calciques ne se distingue plus que par son tapis neutrophile et par une plus grande abondance d'*Acacia gourmaensis.*

En conclusion, après cet examen rapide de la végétation de Haute-Volta orientale, celle-ci nous apparaît à la fois comme un critère climatique certainement plus excat qu'une carte d'isohyètes et comme un indicateur pédologique précis. Cette précision, très grande vers le Nord où la rigueur du climat fait que le sol est très sélectif, diminue toutefois vers le Sud. A l'association végétale très stricte fait place une association plus plastique et plus ubiquiste. Mais la présence de certaines espèces caractéristiques, ou l'abondance d'autres moins spécifiques, permettent en général de pressentir les propriétés les plus importantes du sol.

1. Il faut noter que si cette végétation reflète certaines propriétés actuelles du sol, elle sera modifiée par toute variation de ces propriétés sous l'influence soit de facteurs externes (tels que l'érosion par exemple), soit de facteurs internes (pédologiques).

Deuxième Partie

ÉTUDE MORPHOLOGIQUE

Introduction

En Haute-Volta orientale, sur le socle granito-gneissique exempt d'altérites anciennes, se développent des sols divers qui se ventilent selon la classification française (AUBERT, 1965) dans les unités suivantes :

Sols bruns eutrophes vertiques (MAIGNIEN, 1963)
Sols bruns subarides vertiques (MAIGNIEN, 1954 ; BOCQUIER *et al.*, 1963)
Vertisols
Solonetz (BOCQUIER, 1964)
Sols ferrugineux tropicaux
Sols ferrallitiques (exceptionnels et très localisés).

Certains profils, peu étudiés jusqu'à maintenant, trouvent difficilement place dans la classification française. Ce sont tout d'abord les planosols (Soil Survey Manual 1951), caractérisés par la superposition d'un horizon A^2 lessivé et d'un horizon Bt argileux séparés par une transition linéaire plane. Ce sont ensuite les sols complexes où se succèdent plusieurs séries d'horizons A^2 et Bt ; connus des pédologues américains depuis fort longtemps (STOBBE, 1933 cité par GROSSMANN *et al.*, 1959), ces sols ont été dénommés sols à polysequum aux États-Unis, les plus fréquents étant des sols à bisequum. Ces sols à bisequum retiendront ultérieurement notre attention et l'on tentera d'en expliquer la genèse, au moins pour une partie d'entre eux.

La répartition de ces divers types de sols dans les paysages n'est pas quelconque. Ils sont associés par deux ou plus et constituent des successions ordonnées au long de la pente (BOCQUIER, 1971), que l'on appelle toposéquences ou, plus précisément, chaînes de sols lorsque des relations génétiques entre les sols successifs peuvent être mises en évidence. Ces toposéquences vont nécessairement du sommet de l'interfluve jusqu'au thalweg en suivant la ligne de plus grande pente.

Les diverses sortes de toposéquences de Haute-Volta orientale, directement développées sur les roches granito-gneissiques, ont été inventoriées lors de la cartographie pédologique, et les sols qui les constituent, définis et étudiés (KALOGA 1964, 1969, BOULET 1968, BOULET et LEPRUN, 1970). Mais il n'était pas possible, lors de cette première étape, de déterminer les relations réciproques entre les profils ainsi associés. Toutefois, ces travaux aboutirent, en dehors de toute interprétation génétique, à distinguer deux ensembles de toposéquences d'après les grands traits de leur organisation morphologique :

1er ensemble : Toposéquences où les variations latérales au long de la pente sont faibles en l'absence de variations pétrographiques de la roche mère. Les transitions entre les profils se succédant sur le versant sont progressives. Cette première catégorie sera nommée « ***Toposéquences à faible différenciation latérale*** » ou « ***toposéquences monotones*** ».

2eme ensemble : Toposéquences où les variations latérales au long de la pente sont importantes et rapides même sur roche mère uniforme. Les transitions entre horizons sont également brutales, souvent linéaires, et les contrastes forts. Ce second ensemble est dénommé « ***Toposéquences à différenciation latérale accentuée*** » ou « ***toposéquences contrastées*** ».

C'est l'étude de ces deux ensembles de toposéquences que j'aborderai dans un premier temps du point de vue morphologique et micromorphologique.

Chapitre Premier

Toposéquences à faible différenciation latérale

Ces toposéquences sont de loin les plus fréquentes dans la région et sur les matériaux étudiés. Elles sont pratiquement exclusives dans la zone sahélienne où elles associent soit des solonetz à des sols bruns subarides alcalisés, soit des sols bruns subarides vertiques à des vertisols peu différenciés. Elles sont encore largement dominantes dans les régions méridionales à pluviosité plus forte ; elles réunissent alors essentiellement des sols bruns eutrophes vertiques à des vertisols.

Les roches mères sont des granites ou migmatites à grain moyen à fin, dont la composition varie de celle des granodiorites à celle des granites calcoalcalins.

On décrira tout d'abord en détail une toposéquence située en zone soudanaise à Garango (fig. 1), sous 900 mm de pluviosité. Deux autres exemples situés en zone sahélienne (pluviosité 500 mm) à Tassamakat et Soffokel (fig. 1) nous permettront d'apprécier la variabilité des caractères de ce premier ensemble et de mettre en évidence l'influence éventuelle du gradient climatique latitudinal.

I. LA TOPOSÉQUENCE DE GARANGO I (voir localisation fig. 1)

La région de Garango est située entièrement sur le socle migmatitique dont les affleurements fréquents montrent une hétérogénéité en grand assez importante. Il est de ce fait difficile, sinon impossible, de trouver un versant entièrement situé sur la même roche mère. De plus, dans la zone soudanaise, la composition minéralogique des roches semble avoir guidé, par le biais des matériaux d'altération, le creusement des axes de drainage, qui se localisent généralement dans les zones les plus basiques. Le versant choisi n'échappe pas à cette règle. Situé en 0°35′ W-11°45′ N, long de 300 m, il repose sur une migmatite légèrement orientée.

L'analyse modale donne en trois points les résultats suivants :

Tableau VIII. — Composition minéralogique des matériaux de la toposéquence de Garango I.

	Quartz	Feldspath K	Plagioclase	biotite	amphibole
haut de pente	28	20	31	14	7
mi-pente	26	23	28	13	10
bas de pente	15	19	25	18	23

La roche mère se situe donc à l'amont à la limite entre les granites monzonitiques et les granodiorites, à l'aval dans les diorites quartziques (Jung et Brousse, 1959).

Le modelé est constitué d'interfluves courts, à sommet convexe, à pente faible, de l'ordre de 1,5 à 2 %. Ces interfluves ont des formes intermédiaires entre les longs glacis des régions subarides ou cuirassées et les versants des régions humides. Par leur pente, ils sont cependant encore beaucoup plus proches des premiers que des seconds. Les axes de drainage sont bien incisés. Celui qui borde la toposéquence, large de 10 m et profond de 0,7 à 1 m, est dépourvu d'alluvions autres que les épandages sableux de fond de lit. Ses berges mordent sur les sols de bas de pente dont elles découvrent le profil.

Des inselbergs parsèment la région de Garango, et c'est en particulier au pied du plus vaste d'entre eux que se situe l'une des toposéquences contrastées que l'on étudiera ultérieurement. Le versant qui nous intéresse actuellement est situé sur l'interfluve qui fait suite vers le Sud à celui de cet inselberg et il importe de signaler qu'il en est isolé, tant du point de vue hydrologique que géochimique.

La ***végétation*** est fortement influencée par la culture. C'est une savane culturale très clairsemée à *Butyrospermum parkii, Parkia biglobosa, Tamarindus indica, Sterculia setigera.* La sous-strate arbustive comporte des *Bauhinia reticulata,* des repousses de *Dyospiros mespiliformis,* des *Acacia Seyal.* Le tapis graminéen est à *Pennisetum pedicellatum, Andropogon gayanus, Schoenfeldia gracilis, Aristida hordeacea* ; du milieu au bas de la pente, ces deux dernières espèces, qui sont neutrophiles, deviennent largement dominantes.

Sur cette toposéquence, la ***répartition des sols*** est la suivante :

Les sols de haut de pente sont des ***sols bruns eutrophes*** légèrement vertiques, superficiellement sableux. Les caractères vertiques s'accentuent progressivement vers l'aval et l'on passe, vers la mi-pente, à des ***vertisols*** à nodules calcaires.

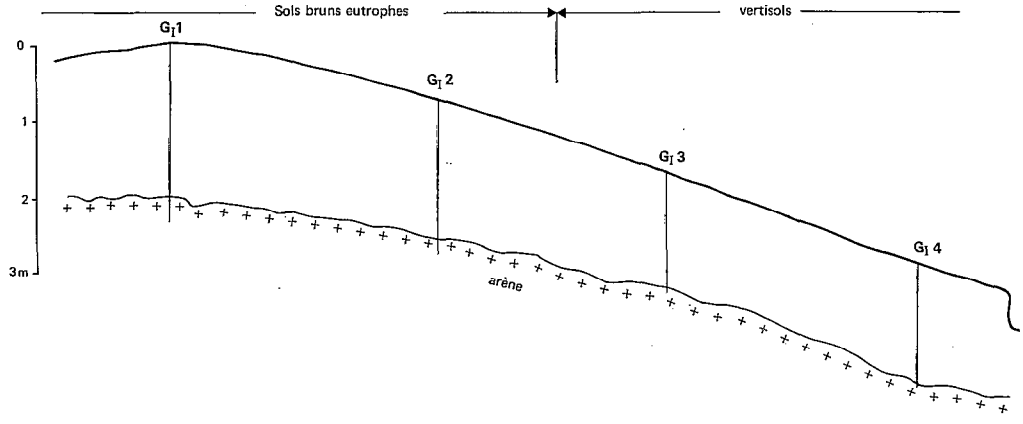


Fig. 11. — Coupe de la toposéquence de Garango I.
Répartition des sols et localisation des profils.

LE PROFIL SOMMITAL G_I1

A. DESCRIPTION MACROMORPHOLOGIQUE

0-20 cm : ***Horizon humifère*** gris brun (10YR 4,5/3) homogène — Sableux — Structure prismatique 10-15 cm en assemblage compact, débit des prismes à tendance cubique, cohésion moyenne — Porosité tubulaire moyenne à faible.

20-50 cm : ***Sommet de l'horizon B***. Contraste moyen à faible, transition progressive (10 cm). Brun légèrement rouge (7,5YR 5/5), nodules noirs et brun rouge, ⌀ 5 mm ; présence de feldspaths blancs friables — Sablo-argileux — Structure cubique 3-4 cm assemblée en prismes de même taille — Assemblage lâche (fentes de l'ordre du mm). Cohésion forte — Porosité tubulaire fine moyennement développée.

50-150 cm : ***Milieu et base de l'horizon B*** Transition de couleur très progressive (20 cm), changement de structure rapide (5 cm). Passe à brun jaune (2,5Y 4/4). Mêmes nodules, feldspaths blancs friables plus nombreux. Apparition vers 100 cm d'îlots arénacés à structure conservée, à feldspaths plus cohérents, à micas noirs ou mordorés ; ces îlots augmentent en nombre vers la base de l'horizon — Argilo-sableux — Structure prismatique 10-15 cm en assemblage très compact lors du creusement de la fosse, devenant lâche au séchage (fentes de 1 à 3 mm) ; débit des prismes horizontal ou légèrement oblique aisé, à faces planes non lissées ; débit vertical très malaisé — Cohésion très forte — Porosité non visible.

150-200 cm : ***Horizon BC***. Contraste moyen, transition progressive (15 cm). Brun jaune (2,5Y 6/5) à petites plages verdâtres polygonales (fantômes de minéraux ferromagnésiens) — Très riche en feldspaths blancs friables — Quelques nodules bruns et noirs tendres, ⌀ 5 mm — Ilots arénacés plus abondants — Sablo-argileux — Même structure s'estompant vers la base — Porosité non visible.

> 200 cm : ***Horizon C***. Matériau d'altération arénacé à structure conservée — Feldspaths blancs variablement friables, minéraux ferromagnésiens noirs ou verdâtres — Sablo-limoneux — Structure massive.

L'enracinement est superficiel. Peu abondant dans l'horizon humifère, il disparaît dans la partie supérieure du B. Les canaux, liés à l'activité de la faune, disparaissent en même temps.

Les caractéristiques de ce profil se résument comme suit :

— Succession d'un petit nombre d'horizons majeurs :

A_I humifère, nettement plus pauvre en argile que l'horizon sous-jacent, à structure peu différenciée liée à la texture sableuse.

B argilo-sableux à structure vertique très peu accentuée, à teneur croissante vers la base en minéraux altérables identifiables mais plus ou moins altérés.

C Matériau d'altération à structure conservée atteint à une profondeur faible (2 m).

— Contrastes de couleur peu accentués et progressifs.

— Variation très progressive de la texture sauf entre les horizons A et B où elle est plus rapide sans être brutale — La texture la plus fine se situe au milieu de l'horizon B.

— Originalité structurale du sommet de l'horizon B. La structure est alors cubique nettement différenciée, en assemblage lâche. Elle contraste avec la structure prismatique peu différenciée de l'horizon A, à texture plus sableuse. Elle contraste aussi avec la structure prismatique bien différenciée mais en assemblage très compact[1] du milieu et de la base de l'horizon B. Cette variation structurale pourrait être liée à la plus grande fréquence des alter-

1. Les fentes de retrait qui apparaissent après la mise à l'air du profil sont des artefacts consécutifs à la dessiccation anormale due à l'ouverture de la fosse. Même en fin de saison sèche, seule la partie supérieure à structure cubique du B, présente des fentes de retrait ouvertes lors du creusement du trou.

nances d'humectation et de dessiccation, donc de gonflement et de retrait, de la partie supérieure du profil lors de la saison des pluies, mais aussi à son dessèchement plus accentué en saison sèche.

— Nodulation ferrugineuse et ferromanganésifère discrète.

— Absence de manifestations d'hydromorphie.

Ces conclusions, qui nous permettent de caractériser convenablement ce sol, de le classer, d'avancer quelques pronostics quant à ses possibilités agronomiques, ne nous apportent que peu d'éléments pour éclairer les mécanismes de la genèse de ses horizons et de ses constituants. Pour aller plus avant dans ce domaine, la nécessité d'une échelle d'observation plus grande, qui permette de reconnaître les principaux constituants élémentaires et surtout d'analyser leur organisation et leurs relations réciproques, s'impose dès l'abord. L'observation micromorphologique répond à cette nécessité.

B. ÉTUDE MICROMORPHOLOGIQUE

1. Avant-propos

Des lames minces ont été taillées pour chaque profil type de façon à pouvoir caractériser l'organisation microscopique de chaque horizon et suivre à cette échelle d'observation toutes les variations observées macroscopiquement. L'orientation des échantillons est toujours repérée.

L'étude micromorphologique d'un sol comporte une première phase descriptive et analytique (nature, forme, arrangement des constituants). De cette analyse, on peut déduire certaines conclusions quant à l'origine des constituants et de leur organisation ou à l'ordre de leur mise en place. Ces conclusions viennent ensuite étayer les interprétations pédogénétiques. La terminologie utilisée pour la description des lames minces est celle de BREWER (1964), dont le vocabulaire a été francisé. On utilisera les principaux termes suivants :

(a) ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS DU MATÉRIAU PÉDOLOGIQUE :

— ***Squelette :*** Minéraux primaires de taille suffisante pour être identifiables au microscope optique. On distinguera souvent le squelette grossier dont la taille est du même ordre de grandeur que celle du grain de la roche mère et le squelette fin de taille généralement nettement inférieure.

— ***Plasma :*** Matière à granulométrie trop fine pour être déterminée optiquement. Elle comprend essentiellement la phase argileuse et une partie des limons.

Ces deux définitions sont voisines de celles proposées par WACKERMANN (1966). Elles ont été choisies de façon à éliminer de nos descriptions toute ambiguïté dans l'utilisation des termes squelette et plasma en supprimant les implications génétiques dont on les charge généralement (telles que la mobilité ou au contraire la stabilité).

— ***Traits pédologiques :*** Les traits pédologiques sont des unités morphologiques qui se distinguent du matériel environnant pour une raison quelconque telle que l'origine, des différences de concentration en certaines fractions du plasma, ou des différences dans l'arrangement des constituants (BREWER, 1964). On distinguera principalement les traits suivants :

Concentration ou différenciation du plasma, du squelette, ou de produits solubles, à la surface des grains du squelette, des agrégats, ou sur les parois des pores. Le terme général désignant ce type de trait pédologique est ***cutane.*** On précise généralement la nature de ces cutanes par un préfixe qui dérive du nom du constituant suivi du suffixe -ane : ***argilane, ferrane, squeletane, calcitane*** etc. Un type particulier de cutane résulte de pressions internes au contact des grains du squelette (ou de tout autre corps rigide tel que les nodules) ou en bordure des vides. Il se manifeste par une orientation du plasma parallèle à la surface des grains ou à la paroi des vides. Ce sont des ***cutanes de contrainte*** (stress cutans de BREWER).

Concentration ou différenciation au sein du matériau pédologique. Ce sont tout d'abord des concentrations d'oxydes et d'hydroxydes métalliques, de calcaire... Les ***nodules*** sont des concentrations indifférenciées, les ***concrétions*** ont au contraire une structure concentrique. Ce sont ensuite des concentrations d'argile uniformément orientée ou zonée, désignées sous le nom de ***papules.***

Certains traits pédologiques sont constitués par des fragments de roche mère plus ou moins altérée, par des organisations issues de dépôts superficiels, ou par des reliques de structures pédologiques antérieures à l'arrangement du reste de l'horizon. Ce sont respectivement des ***lithoreliques***, des ***sédireliques***, des ***pédoreliques.***

(b) Organisation du plasma par rapport au squelette :

— ***Assemblage porphyrosquelique :*** les grains du squelette sont noyés au sein d'un plasma presque continu.

— ***Assemblage agglomeroplasmique :*** le remplissage de plasma entre les grains du squelette est lâche et incomplet.

— ***Assemblage intertextique :*** les grains du squelette sont reliés par des ponts de plasma ou situés au sein d'un fond plasmique très poreux.

— ***Assemblage granulaire :*** il n'y a pas de plasma ou bien celui-ci se manifeste uniquement sous forme de traits pédologiques.

(c) Organisation du plasma

Le plasma contient généralement des cristallites anisotropes, trop petites pour être distinguées nettement au microscope optique, mais dont l'orientation relative d'ensemble peut entraîner l'apparition de domaines orientés, se manifestant par une extinction striée en lumière polarisée. Les principaux types de plasma que nous observerons sont les suivants :

— ***Plasma asépique :*** il n'y a pas d'orientation relative des cristallites ; l'extinction est ponctuée. Le plasma sera ***argilasépique*** s'il est à dominance d'argile ou ***silasépique*** s'il est à dominance de limon.

— ***Plasma insépique :*** Des domaines orientés à extinction striée, sont isolés au sein d'un plasma asépique.

— ***Plasma masépique :*** Tout le plasma est constitué de domaines, dont l'extinction est striée selon une direction ou selon deux directions (bimasépique).

— ***Plasma omnisépique :*** L'orientation du plasma est complexe, entraînant une striation enchevêtrée.

— ***Plasma vosépique :*** striation seulement à proximité des vides et parallèle à leur paroi. Cette organisation implique l'existence de cutanes de contrainte qu'il est alors inutile de mentionner.

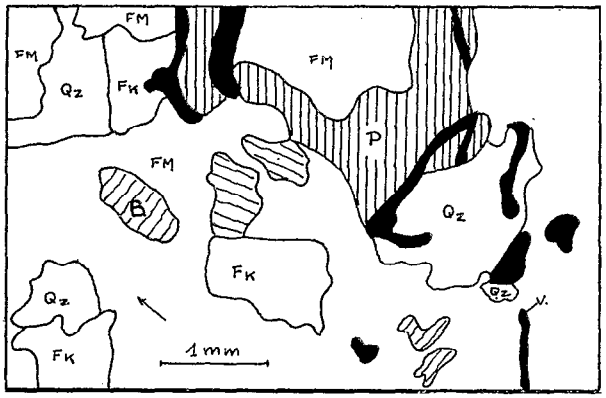
— ***Plasma squelsépique :*** striation seulement autour des grains du squelette et parallèle à leur surface (même remarque que ci-dessus).

Les plasmas qui associent plusieurs types d'orientation sont désignés en groupant les préfixes. Ainsi, un plasma ***squelvo-bimasépique*** aura dans sa masse une extinction striée selon deux directions et, à proximité des vides et des grains du squelette, une extinction striée parallèle à la bordure de ceux-ci.

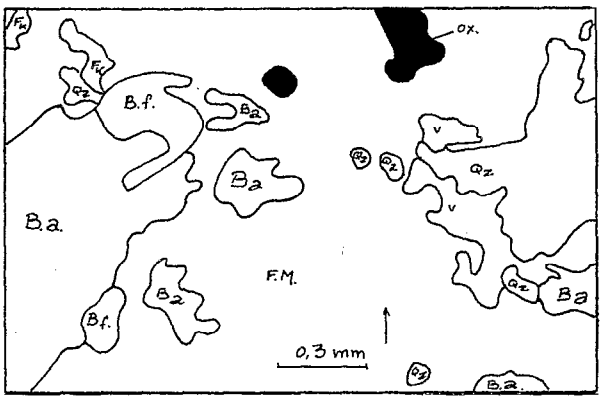
(d) Le fond matriciel

Le fond matriciel est constitué par le plasma, le squelette et les vides, à l'exclusion des traits pédologiques. En général, sa description viendra après la définition de l'assemblage et avant l'étude des traits pédologiques.

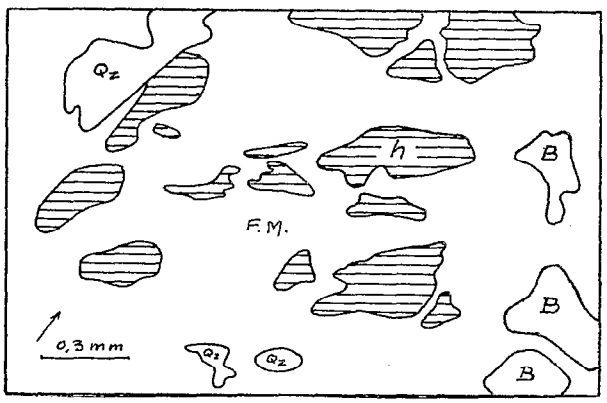
L'analyse micromorphologique nous permettra de mettre en évidence des filiations entre constituants ou entre organisations du sol. L'ordre dans lequel seront décrites les lames



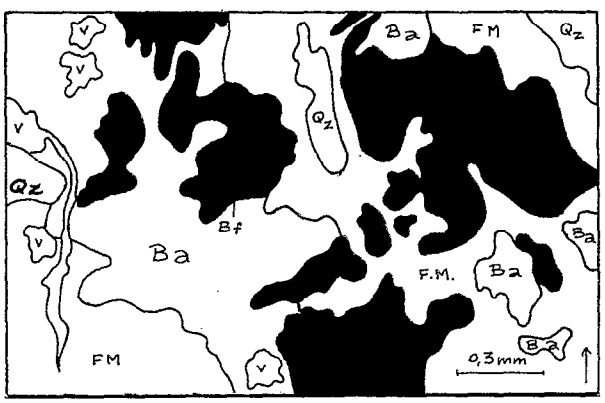
1. — Qz : quartz – F_K : feldspath potassique – P : plagioclase – B : biotite – FM : fond matriciel à plasma d'altération – V : vide.



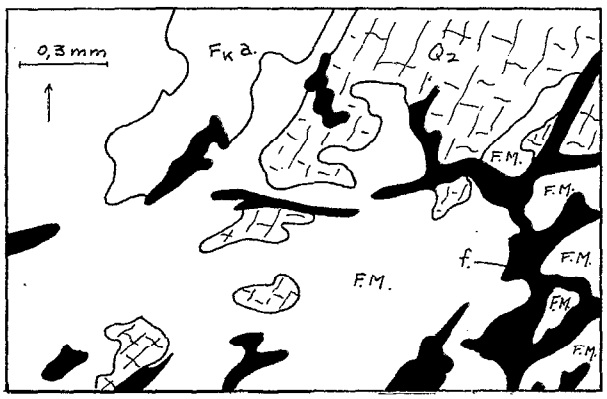
2. — Ba : biotite altérée – Bf : biotite ferruginisée – Ox. : oxydes de fer – V : arrachement de la lame lors de la fabrication.



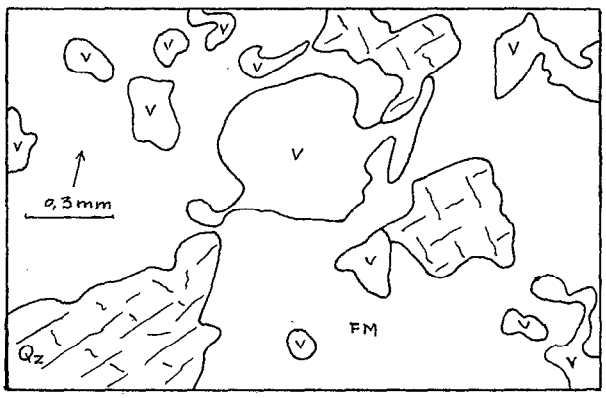
3. — h : hornblende – B : biotite – FM : fond matriciel à plasma d'altération argilasépique.



4. — Bf : biotite ferruginisée – Ba : biotite altérée – V : vide.

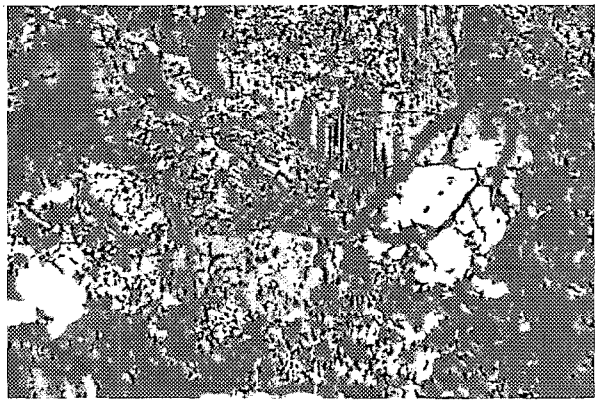


5. — F_{Ka} : feldspath K altéré – f : fissure – FM : fond matriciel à plasma d'altération à tendance vosépique.

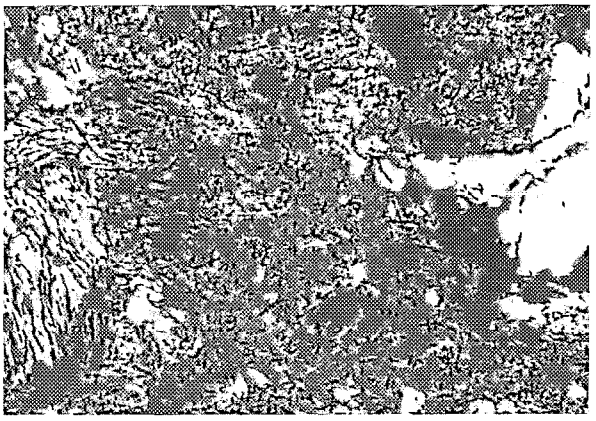


6. — V : vide – FM : fond matriciel à plasma squelbimasépique.

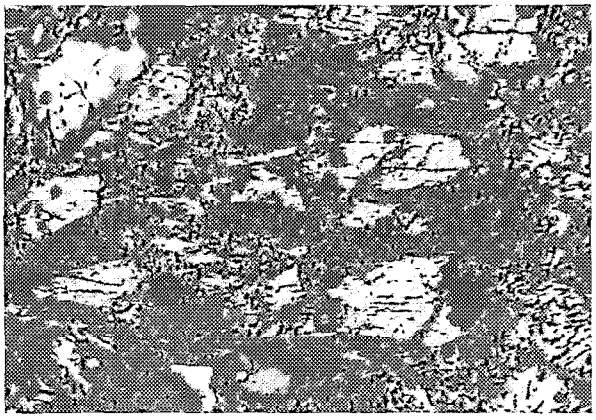
LE SOL BRUN EUTROPHE AMONT DE GARANGO I



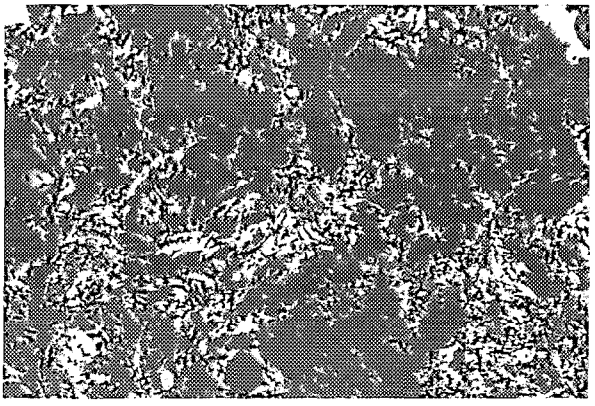
1. L.P. — Horizon C (3 m). Matériau à structure conservée.



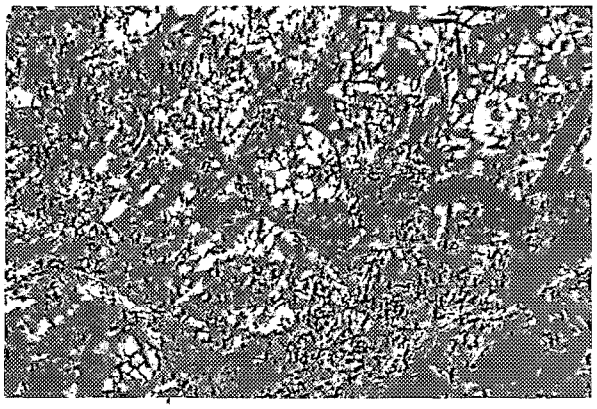
2. L.P. — Horizon BC (2 m). Fond matriciel d'altération à plasma argilasépique.



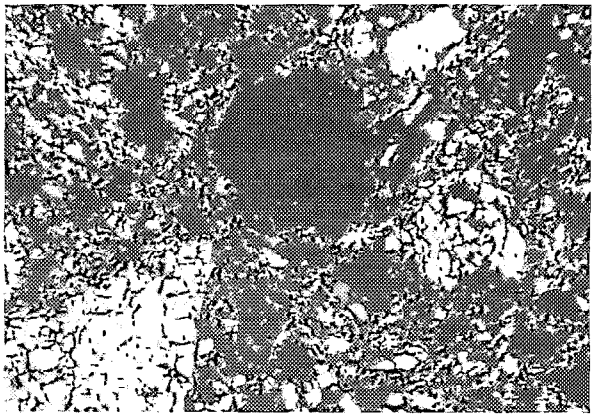
3. L.P. — Horizon BC (2 m). Cristal de hornblende s'altérant sans déplacement en donnant un plasma argilasépique.



4. L.P. — Horizon B (80 cm). Biotite altérée fortement exfoliée, localement ferruginisée.



5. L.P. — Horizon B (80 cm). Les fissures sont plus nombreuses, les quartz très fracturés. Des domaines orientés apparaissent dans le fond matriciel, en bordure des vides.



6. L.P. — Partie supérieure de l'horizon B (30 cm). Quartz très fracturé, porosité plus forte. Fond matriciel à plasma squel-bimasépique et à squelette fin hétérogène.

minces des divers horizons doit suivre celui de ces filiations. Lorsque celles-ci sont verticales et de bas en haut, on commencera par décrire le matériau originel pour aller ensuite vers le sommet du profil. Ce sera l'inverse lorsque ces filiations se font de haut en bas.

2. Description micromorphologique du profil G_I1

200 cm : HORIZON C

Le ***squelette*** est constitué de quartz un peu fracturés, à fragments non déplacés (extinction commune), de feldspaths variablement séricitisés, de biotites, de hornblendes.

L'altération des feldspaths K s'effectue le plus souvent selon un front linéaire par transformation brutale en un plasma non orienté, argilasépique ou silasépique selon la taille des cristallites élémentaires ainsi formées. Des îlots de feldspaths persistent, noyés dans ce « plasma d'altération », mais ils ne sont pas déplacés ainsi qu'en témoigne leur orientation cristallographique qui reste commune aux îlots ayant appartenu à un même cristal.

Les plagioclases sont généralement altérés dans leur masse en amas microcristallins (2-15μ) donnant une amorce de plasma silasépique. Plus rarement, ils sont soumis à un front d'attaque moins brutal toutefois que celui des feldspaths K (Pl. I photo 1).

La hornblende évolue de la même façon que les feldspaths K (Pl. I photo 3).

Les biotites sont toutes en cours d'altération, très peu pléochroïques, à teinte de polarisation vive (vermiculitisation). Elles passent également à un plasma d'altération, qui présente parfois une certaine orientation (tendance masépique). Mais à fort grossissement, on constate que cette orientation est due à la persistance d'éléments résiduels filamenteux constitués de cristallites alignées parallèlement au plan de clivage des biotites et noyées au sein d'un plasma argilasépique ; elle constitue un reflet des structures cristallines primaires et non une organisation propre au plasma néoformé. Le plasma est donc bien exclusivement asépique.

Les seuls ***traits pédologiques*** sont constitués par quelques concentrations ferromanganésifères brun foncé à noir, qui constituent des nodules diffus associés aux cristaux de biotite, très rarement de hornblende.

La ***porosité*** est faible, constituée essentiellement de fissures à bords francs, sans organisation plasmique particulière, et qui résultent probablement, au moins en partie, de la dessiccation artificielle de l'échantillon.

200-150 cm — HORIZON BC DE TRANSITION ENTRE LE MATÉRIAU ET L'HORIZON B

Squelette et plasma sont analogues à ceux de l'horizon C précédent. Le plasma d'altération, à caractère asépique et, plus précisément, argilasépique (Pl. I photo 2), est cependant beaucoup plus abondant. Le squelette apparaît alors noyé dans le fond plasmique d'altération et l'assemblage est donc porphyrosquelique. Il reste encore de nombreux fantômes cristallins avec îlots résiduels non déplacés, à extinction commune, noyés dans leur plasma d'altération. La taille du squelette reste toutefois à large dominance de cristaux de la dimension des sables grossiers (0,5-1 mm). Les cristaux sont fracturés. La teneur en quartz a augmenté relativement par rapport à celle des autres minéraux primaires.

Les ***concentrations*** ferrugineuses ou ferromanganésifères sont plus nombreuses. Elles sont toujours associées aux biotites dont elles imprègnent à la fois les lamelles et le plasma d'altération ; leur bordure est linéaire, leur forme très irrégulière.

150-50 cm : BASE ET MILIEU DE L'HORIZON B

L'assemblage du squelette et du plasma est également porphyrosquelique. Le squelette est constitué de quartz, de feldspath K à limite très dentelée, de plagioclases variablement altérés dans leur masse. Les biotites sont moins abondantes et, le plus souvent, fortement ferruginisées (Pl. I photo 4). Les amphiboles sont rares. Les cristaux restés sains (quartz et feldspaths K) sont très fracturés mais à fragments non ou peu déplacés. Les plagioclases présentent tous les intermédiaires entre les cristaux altérés à macle polysynthétique encore

visible et un plasma silasépique dont les constituants, de la taille des limons, sont des cristallites ou des amas cristallins d'argile et de séricite.

Le plasma asépique d'altération, dont on suit la formation et le développement depuis la base du profil, constitue une part de plus en plus importante du fond matriciel. Celui-ci ne comporte pas de squelette fin autre que des ilôts peu abondants de minéraux en cours d'altération. Il est parcouru de fentes sinueuses. Au voisinage des fentes les plus larges apparaît, au sein du plasma, un squelette fin (0,05 mm) de quartz et de feldspaths, ainsi que des domaines légèrement orientés (tendance vosépique) (Pl. I photo 5). En bordure de certains pores, on note la présence d'argilanes jaunes, bien orientés, à limites nettes. Ces argilanes comportent fréquemment des fragments alignés de biotites issus des amas contigus.

Des nodules ferro-manganésifères à divers stades d'individualisation apparaissent dans cet horizon. Les moins différenciés sont centrés sur des cristaux de biotite ferruginisée qu'ils débordent toutefois largement en imprégnant le plasma environnant. Lorsque l'on va vers les formes les plus différenciées, leur opacité s'accroît, leur forme s'arrondit puis ils se dissocient du plasma environnant par une fissure continue et s'entourent d'un cortex, tandis que le fond matriciel tend à s'orienter à leur périphérie (tendance squelsépique).

50-20 cm : PARTIE SUPÉRIEURE DU B

Au sommet de l'horizon B, l'organisation micromorphologique change considérablement. L'assemblage devient agglomeroplasmique. Le squelette est constitué de quartz et de feldspaths très fracturés, à fragments souvent dissociés qui se dispersent dans le fond matriciel (Pl. I photo 6), de quelques fines lamelles de biotite ferruginisée isolées. Les plagioclases altérés ont disparu. Le squelette fin est régulièrement réparti dans le fond matriciel à plasma uniformément vo-squel-masépique. Les vides sont nombreux, rarement revêtus d'argilanes jaunes bien circonscrits ; leur forme est plus ou moins circulaire ; les fissures sont rares.

Les nodules circonscrits sont tous bien différenciés, arrondis, entourés d'un cortex plus sombre. Des concentrations ferrugineuses diffuses apparaissent à ce niveau, au sein du plasma, sous forme de plages irrégulières à réseau floconneux brun rouge sur fond jaune. Leurs contours sont flous. La différenciation de ces amas diffus reste faible.

0-20 cm : HORIZON HUMIFÈRE

L'organisation est voisine de celle du sommet de l'horizon B, mais le plasma argileux est nettement moins abondant, l'assemblage étant franchement intertextique. La dissociation des quartz et feldspaths K est plus avancée. La porosité est bien développée, les pores sont rarement revêtus d'argilanes.

3. Conclusions et interprétations

Genèse du plasma argileux, évolution de son organisation. De la base du profil jusqu'au milieu de l'horizon B, on a suivi la transformation progressive (plagioclase, biotite) ou brutale (feldspaths K, hornblende), des minéraux altérables en un plasma argilo-limoneux sans aucune orientation relative des cristallites (BREWER, 1964). Cette absence d'orientation peut être due tout d'abord à ce que la transformation s'effectue sur place, sans aucun déplacement susceptible d'orienter les cristallites argileuses ainsi formées selon une direction commune ; elle serait due aussi à l'absence de contraintes internes (pression-cisaillement) suffisantes pour déterminer l'apparition de domaines orientés. Cette absence de contraintes peut être reliée au régime hydrique comme on le verra ci-dessous, ainsi qu'à la très faible accentuation des caractères vertiques de ce sol de sommet de pente. La persistance jusqu'au milieu du B, de fantômes de minéraux primaires, en grande partie transformés en plasma, est également due à la faible pénétration de l'activité biologique (racines, animaux) dont le domaine d'action reste très superficiel, limité par la compacité de la partie prismatique du B. Cette activité, qui constitue l'un des principaux agents de pédoturbation, laisse donc intacte une grande partie du profil.

Ce n'est que vers le milieu du B qu'apparaissent des fissures qui sont les manifestations du gonflement et du retrait. A ces fissures sont liés des domaines légèrement orientés qui confèrent au plasma une tendance vosépique (Pl. I photo 5). Simultanément, les minéraux primaires fracturés, situés dans ces domaines orientés ou à leur périphérie, se dissocient, et leurs fragments se dispersent dans le plasma, fournissant au fond matriciel un squelette fin ($< 0{,}1$ mm) jusqu'alors très peu abondant. Nous voyons donc naître ici une nouvelle organisation, étroitement associée aux fissures, qui résulte des mouvements internes à l'horizon.

Dans les 30 cm supérieurs de l'horizon B par contre, l'orientation squel-vo-masépique du plasma devient la règle, en même temps que se généralise l'intégration dans ce plasma du squelette fin issu des minéraux primaires fracturés. Cette réorganisation, ainsi que le suggère son mode d'apparition dans le profil (cf. § précédent), résulte des contraintes dues à des mouvements de gonflement et de retrait accentués (Rode *et al.*, 1960 ; Brewer, 1964 ; de Vos *et al.*, 1969 ; Blokhuis, 1970). En effet, la partie supérieure du B est soumise à chaque pluie importante à une humectation suivie d'une dessiccation rapide, tandis que ces fluctuations s'amortissent en profondeur. Au-delà d'une cinquantaine de cm de profondeur, le cycle des humectations et dessiccations tend vers celui des saisons sèches et humides. Sa période change alors, passant de quelques jours à l'année. On se rappellera d'ailleurs que cette modification verticale rapide dans l'organisation micromorphologique correspond à une variation également rapide de la macrostructure, qui s'affine au sommet de l'horizon B, variation apparaissant elle aussi liée à la fréquence et à l'amplitude des cycles d'humectation et de dessiccation. Ainsi, un simple changement dans la périodicité des conditions hydriques suffirait à modifier notablement l'organisation macro- et microstructurale de la partie supérieure du profil.

Le passage à l'horizon A est assez rapide, il s'effectue sur une dizaine de cm. Il ne s'accompagne pas d'une transformation importante de l'organisation du plasma qui reste bimasépique ; mais la proportion de ce plasma dans le fond matriciel diminue nettement au bénéfice du squelette (assemblage intertextique). Cette variation correspond à une perte de fraction fine. Il s'agit donc d'un horizon éluvial. Toutefois, la faible importance des microstructures d'illuviation dans l'horizon B sous-jacent ne permet pas de relier cet appauvrissement superficiel en plasma à une migration exclusivement verticale. D'autres facteurs tels que les migrations latérales et l'érosion peuvent intervenir. Le problème des horizons éluviaux superficiels sera à nouveau envisagé dans la quatrième partie réservée à l'interprétation d'ensemble des toposéquences.

Nous avons donc constaté que l'essentiel du plasma argileux de ce profil est né sur place de l'altération des minéraux primaires. Il résulte de ce que l'on pourrait appeler ***altéroplasmation.*** Par contre, l'orientation du plasma et l'intégration au fond matriciel du squelette fin, qui se réalisent à la partie supérieure du profil, sont dues à la ***pédoplasmation*** telle que la définissent Flach *et al.* (1968).

Lorsque l'on consulte la littérature, il semble assez rare que les structures primaires se maintiennent si haut dans les profils. Généralement, elles disparaissent plus ou moins rapidement lors du passage du matériau originel au sol, soit dans l'horizon BC, soit à la base du B (Romashkevich, 1964 ; Flach *et al.*, 1968 ; Nettleton *et al.*, 1970). Flach *et al.* (1968) constatent toutefois la persistance dans un vertisol de Californie de près de 70 % des fantômes de minéraux primaires altérés dans l'horizon B_2 Ca, alors que ces structures primaires disparaissent beaucoup plus rapidement dans un sol ferrallitique de Porto Rico. Dans les régions tempérées froides, Rubilina (1971) note, dans des sols bruns forestiers, la persistance, sur l'ensemble du profil, de minéraux primaires argilifiés qui alimentent in situ le plasma argileux, tandis que, dans des chernozems, ce plasma d'altération reste identifiable jusque dans l'horizon Bca (Yarilova *et al.*, 1970).

Dans le profil G_I1, la persistance prolongée des structures primaires est attribuable aux trois facteurs évoqués précédemment : actions mécaniques, liées au gonflement et au retrait, faibles (d'où les caractères vertiques très peu accentués), activité biologique limitée à la partie supérieure du profil, nature du régime hydrique.

Les migrations d'argile : Les argilanes sont rares dans ce profil mais, par leurs caractères, ils sont indiscutablement attribuables à l'illuviation : localisation sur les bordures des pores, contact linéaire avec le fond matriciel adjacent, excellente orientation des particules argileuses entraînant une forte anisotropie de l'ensemble (BREWER, 1957, 1960, 1966 ; STEPHEN, 1960). Ils apparaissent vers le milieu de l'horizon B et se maintiennent jusqu'en surface. Certains faits tendent à montrer que cette argile illuviée n'a pas été transportée sur une distance importante ou, du moins, qu'elle s'alimente partiellement à partir du fond matriciel voisin. En effet, elle entraîne fréquemment des fragments issus des amas de biotite adjacents et, selon toute vraisemblance, une partie de leur argile d'altération.

On notera d'autre part que le lessivage et l'illuviation concomitante empruntent dans ce profil des voies et des structures d'accueil créées par d'autres mécanismes (activité biologique, retrait...) et qu'ils agissent de ce fait sans brutalité, en respectant les organisations fragiles préexistantes (fantômes de minéraux altérés, cristaux fissurés sans déplacement, etc). Nous verrons ultérieurement qu'il est d'autres modes d'action du lessivage beaucoup plus agressifs que celui qui se manifeste discrètement dans ce profil.

Il est important de souligner que ce n'est pas la rareté ou même l'absence d'argilanes dans la partie centrale et inférieure du B qui constitue l'argument prouvant la part négligeable de l'illuviation dans la formation du B. En effet, cet argument fut refuté avec raison par NETTLETON, FLACH et BRASCHER (1969) qui ont montré que l'on peut avoir des horizons illuviaux ne possédant que très peu d'argilanes. Mais ces horizons illuviaux présentent alors une orientation intense omni ou ma-sépique due aux contraintes qui sont justement responsables de la disparition rapide ou de l'absence d'argilanes. Or nous avons vu qu'à la base et au milieu de l'horizon B, là où se forme l'altéroplasma, celui-ci, dans sa majeure partie, n'est pas orienté. C'est uniquement la transformation sur place des minéraux altérables en un plasma asépique, qui montre la stricte autochtonie de ce plasma.

En conclusion, on constate une illuviation discrète, limitée à la partie supérieure de l'horizon B et qui ne correspond qu'à des transports très courts, à partir du fond matriciel lui-même.

L'individualisation des hydroxydes métalliques

L'individualisation d'hydroxydes de fer et de manganèse apparaît croissante de bas en haut. Dans la partie inférieure du profil, jusqu'à la base de l'horizon B incluse, les amas ferromanganésifères sont rares, de forme variée (mamelonnée, polygonale, rarement dendritique), à bordure linéaire ; leur teinte, brun foncé à noire en lumière normale, est homogène. Ils sont le plus souvent développés au sein de minéraux ferromagnésiens (généralement des biotites, plus rarement des hornblendes), dont ils débordent rarement les limites.

Au milieu de l'horizon B, la ferruginisation des biotites qui ont résisté à l'altération se généralise. On observe, à partir de ces biotites, la différenciation de nodules par invasion du plasma voisin, régularisation des bordures, qui s'arrondissent, isolement du nodule par une fissure périphérique et formation d'un cortex. Le plasma environnant tend alors à s'orienter parallèlement à la bordure du nodule, ce qui indique que celui-ci est devenu un élément cohérent à l'égal du squelette de minéraux primaires. Au sommet de l'horizon B, la nodulation est parvenue à maturité ; tous les nodules sont arrondis, dissociés du plasma environnant auquel ils paraissent étrangers. Mais la filiation observée montre qu'ils sont dans leur milieu de formation et non des éléments allochtones. L'évolution finale des nodules (durcissement, fissure périphérique, cortex), qui ne se manifeste pleinement qu'à la partie supérieure du B, est également à relier à la dessiccation superficielle ainsi que l'ont déjà noté DROSDOFF *et al.* (1940) et, plus tard, BOCQUIER (1971).

Plus rarement, les concentrations d'hydroxydes de fer se fixent sur un feldspath altéré ou un quartz fissuré, ce qui montre que, si les minéraux ferromagnésiens et, tout particulièrement, les biotites, sont les germes les plus favorables au développement des nodules, ceci n'est pas exclusif. De plus, feldspath et quartz ne contenant pas de fer, de tels cas suggèrent

une concentration centripète des oxydes métalliques à partir du plasma environnant (WACKERMANN, 1967), avec précipitation selon un front linéaire.

L'un des principaux caractères de la nodulation métallique dans ce profil est de se réaliser par imprégnation de minéraux altérés et de plasma, sans migration d'argile associée.

Un second mode d'individualisation ferrugineuse se manifeste vers le sommet du B. Il reste limité à la différenciation d'amas floconneux et diffus qui sont probablement à l'origine de la teinte plus brune de la partie supérieure de cet horizon.

Essai d'estimation quantitative des transformations micromorphologiques

Il est possible de donner une représentation quantitative des transformations observées en lame mince grâce à l'analyse modale au compteur de points telle que l'a déjà pratiquée ESWARAN (1968). On vérifie ainsi (fig. 12) que les vitesses d'altération des divers minéraux primaires ne sont pas les mêmes. La hornblende disparaît très rapidement ; quelques cristaux se maintiennent jusqu'à 80 cm du sommet du profil, mais couvrent moins de 1 % de la surface. La biotite s'altère également très vite mais ne donne de plasma entièrement formé que plus lentement, ou bien se ferruginise. Elle disparaît, en tant que forme cristalline primaire, vers le sommet de l'horizon B. Cette disparition est liée à la dissociation des lamelles altérées et à leur fragmentation par contraintes mécaniques. Les feldspaths persistent jusqu'en surface,

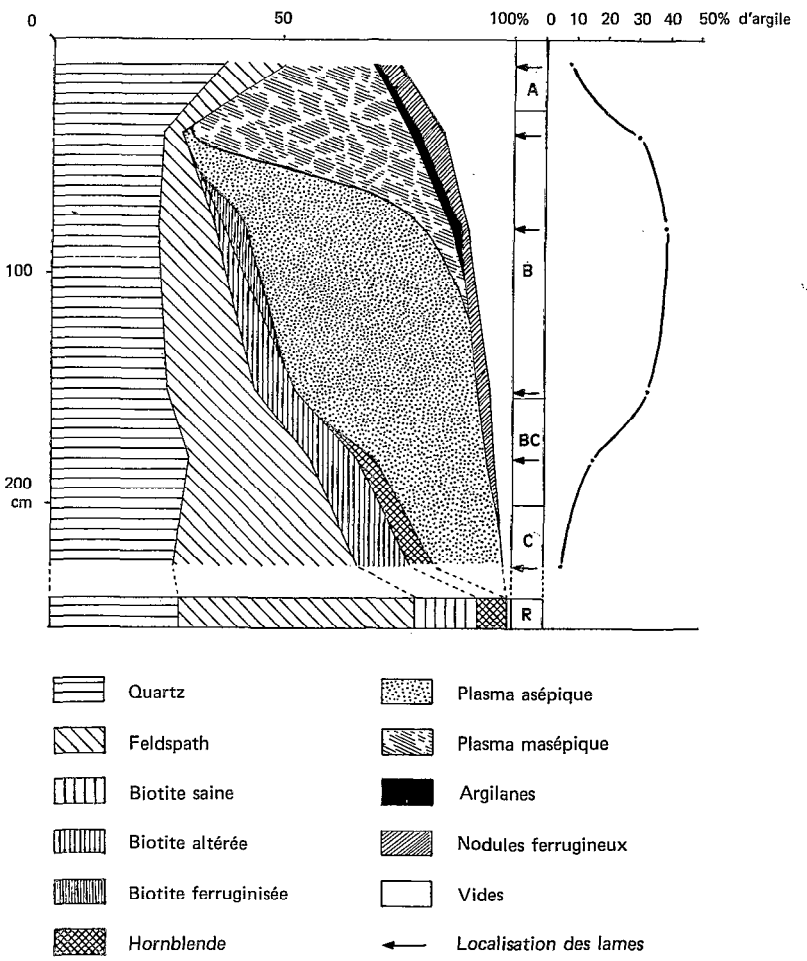


FIG. 12. — Abondance relative des minéraux primaires, des divers types de plasma et des traits pédologiques du profil G_I1.

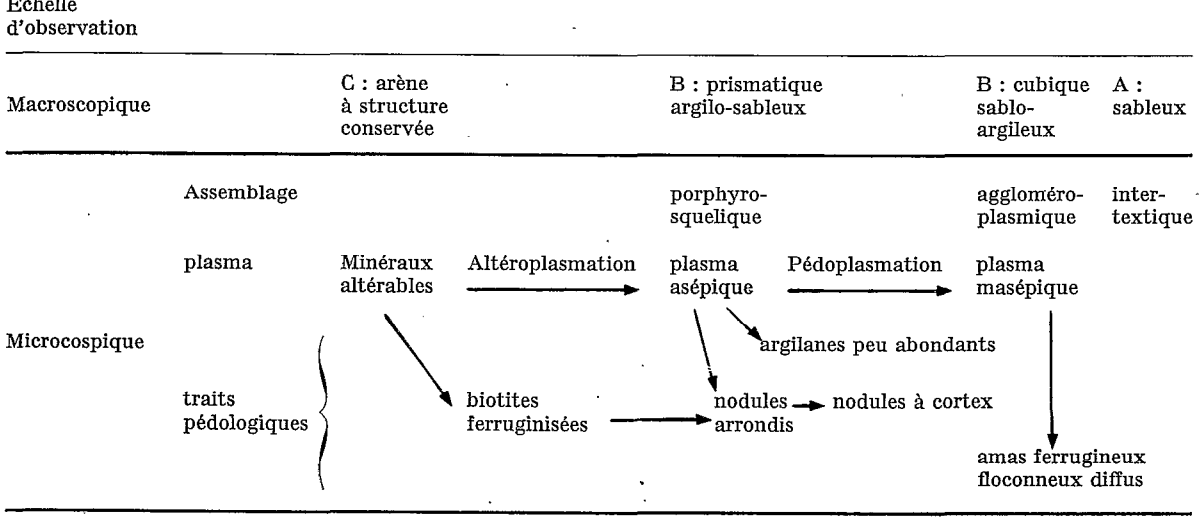
les plagioclases diminuant plus rapidement que les feldspaths potassiques. Toutefois, au sommet du profil, il devient difficile de distinguer ces deux types de feldspath dans les fractions sableuses fines, aussi ne les a-t-on pas séparés sur le graphique. On retrouve là la séquence classique d'altérabilité croissante des minéraux (GOLDICH, 1938).

On assiste dans l'horizon BC au développement rapide du fond matriciel asépique. Grâce à la courbe granulométrique juxtaposée, on constate que le taux d'argile le plus élevé est atteint lorsque l'altéroplasmation est maximum, avant que ne se manifeste pleinement la pédoplasmation. Ceci confirme que l'horizon B a acquis son stock d'argile par altération in situ. La pédoplasmation intervient ensuite pour réorganiser le fond matriciel. Les argilanes apparaissent vers le milieu du B mais restent partout inférieurs à 3 % de la surface de la lame.

C. CONCLUSION

Aux échelles macro- et microscopiques, nous avons donc observé une séquence de différenciation et d'organisation dont les termes se succèdent de la base vers le sommet du profil. Ceci est résumé dans le tableau VIII*bis*. Ces diverses étapes correspondent à la transformation ou à la réorganisation des constituants du matériau originel puis des horizons, et l'on établit, par la même occasion, les filiations entre ces constituants et organisations (matérialisées par des flèches sur le tableau VIII*bis*). Ces séquences et filiations ne peuvent être que pressenties lors de l'étude macroscopique du profil. Seule l'analyse micromorphologique permet de les mettre en évidence. L'une des principales conclusions de cette analyse est que le plasma argileux de ce sol brun eutrophe est essentiellement autochtone et résulte de l'altération sur place des minéraux primaires. Les déplacements, qu'ils correspondent à des migrations (argilanes) ou à des réorganisations (orientation du plasma, dispersion du squelette fin...) ne se font que sur courte distance, à l'échelle de la lame mince ou de l'horizon.

Tableau VIIIbis — SÉQUENCES DE DIFFÉRENCIATION ET FILIATIONS DANS LE PROFIL SOMMITAL DE LA TOPOSÉQUENCE DE GARANGO I.



LE PROFIL DE TIERS SUPÉRIEUR DE PENTE G_I2
La transition vers les vertisols

A. DESCRIPTION MACROMORPHOLOGIQUE

0-25 cm : ***Horizon A*** brun grisâtre (10YR 4/3) ; vers la base, présence de nodules ferrugineux bruns à brun noirâtre, à cortex brun — Sableux — Structure prismatique 15 cm en assemblage compact, débit des prismes non orienté mamelonné, cohésion moyenne — Porosité tubulaire fine moyennement développée.

25-40 cm : ***Sommet de l'horizon B*** Contraste moyen, transition sur 5 cm. Brun légèrement rouge (7,5YR 5/4.5) à tâches rouges diffuses ; présence de feldspaths friables ; nodules bruns ou bruns à cœur noir assez indurés au sommet, plus tendres vers la base — Argilo-sableux — Structure cubique 2-3 cm en assemblage prismatique 10-15 cm, assemblage lâche (fentes de 1-2 mm), cohésion très forte — Porosité tubulaire fine moyenne à faible — Des dépôts sableux, de la teinte de l'horizon supérieur tapissent certaines parois verticales de prisme jusqu'à la base de l'horizon.

40-130 cm : ***Milieu et base de l'horizon B*** Contraste moyen à fort, transition progressive (15 cm). Brun olive (2.5Y 4/4) à taches brun ocre diffuses peu contrastées ; nodules ferromanganésifères moins nombreux. Feldspaths plus abondants — Argileux au sommet, passant à argilo-sableux à la base. Structure prismatique en assemblage un peu lâche sur les dix premiers centimètres dès l'ouverture de la fosse, compact ensuite ; sous-structure en plaquettes obliques 5-10 cm à faces obliques lissées et striées. Cohésion très forte — Porosité non visible — Légèrement calcaire par points à la base. De minces dépôts d'argile sableuse de la teinte de l'horizon sus-jacent revêtent les faces verticales de certains prismes jusqu'à une profondeur de 50 cm.

130-180 cm : ***Horizon BC*** Contraste faible, transition progressive — Même teinte d'ensemble — Les taches ocres diffuses passent progressivement à de petites plages polygonales ⌀ 1-2 mm de même teinte. Des îlots arénacés à structure conservée apparaissent et sont de plus en plus abondants vers la base. La structure prismatique s'estompe, tendant à devenir massive ; cohésion très forte — Compact. Légèrement calcaire par points.

180 cm : ***Arène*** à structure conservée, assez cohérente, massive. Feldspaths variablement friables. Minéraux ferromagnésiens verdâtres à noirs.

L'enracinement est peu abondant, il disparaît vers 50 cm.

Ce profil, bien que présentant de nombreuses analogies avec le précédent (nombre et type de différenciation des horizons) s'en distingue cependant par les caractères suivants :

— Différenciation vertique nette du milieu et de la base du B, qui ne se manifeste plus seulement par une structure prismatique large, mais par des figures de gonflement et de retrait (faces lissées striées).

— Individualisation de calcaire à la base du B qui reste toutefois très discrète.

— Migrations particulaires le long des fentes de retrait :

. De sables de l'horizon A vers la partie supérieure du B

. D'argile sableuse de la partie supérieure du B vers l'horizon vertique.

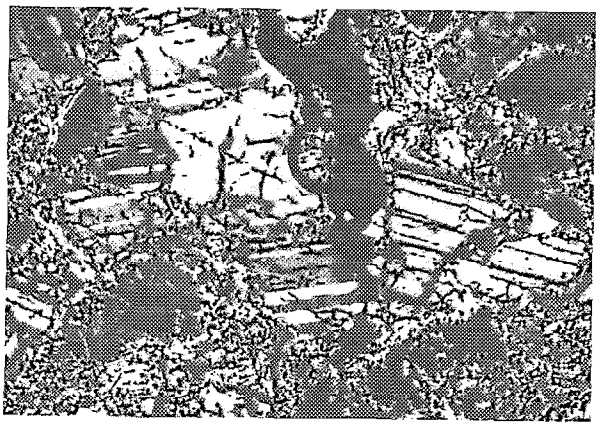
Ces migrations, bien que faibles, sont bien visibles grâce au contraste de couleur entre le matériel transporté et l'horizon d'accueil. Elles sont limitées en profondeur à la zone à fentes de retrait ouvertes en saison sèche. Elles sont manifestement secondaires à la différenciation structurale et constituent l'amorce des mouvements verticaux de matière solide caractéristiques des vertisols (HALLSWORTH *et al.*, 1955).

B. DESCRIPTION MICROMORPHOLOGIQUE

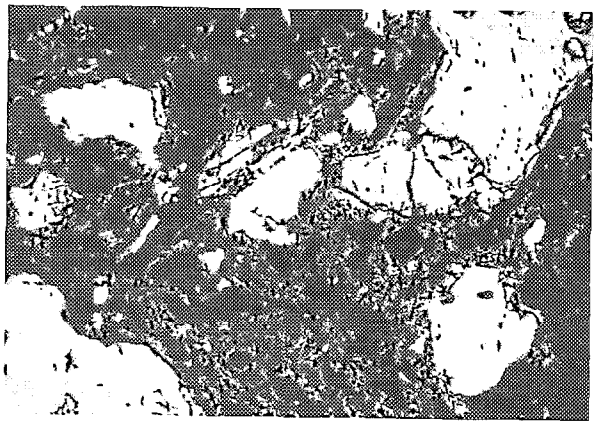
> 180 cm : HORIZON C

Matériau arénacé — Organisation analogue à celle du matériau du profil G_I1 : assemblage porphyrosquelique — Plasma asépique d'altération de feldspaths, biotites, amphiboles qui se transforment in situ.

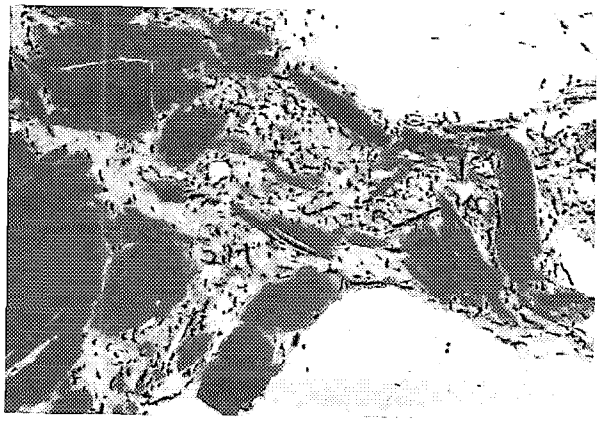
LE SOL INTERGRADE BRUN EUTROPHE — VERTISOL DE GARANGO I



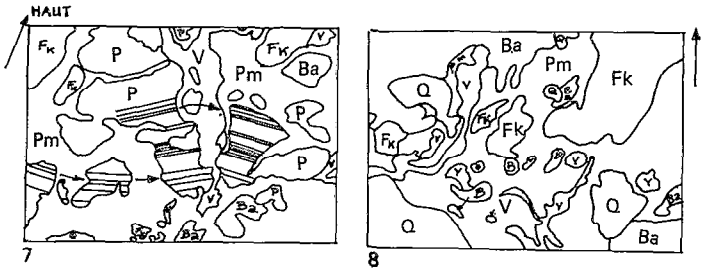
7. L.P. — Plagioclase fracturé à fragments déplacés. Plasma squelsépique. Horizon BC de $G_1 2$.



8. L.P. — Plasma vo-squel-insépique. Base de l'horizon B de $G_1 2$.



9. L.N. — Lamelles de biotite déplacées par glissement et matérialisant les lignes de force des contraintes internes. Base de l'horizon B de $G_1 2$.



V : vide
Pm : plasma dominant
Fk : feldspath potassique
P : plagioclase
Q : quartz
B : biotite
Ba : biotite altérée



10. L.P. — Même vue que 9.

130-180 cm : HORIZON BC

Assemblage porphyrosquelique. Le plasma augmente considérablement par rapport au matériau et s'oriente au contact des grains du squelette (squelsépique). On observe encore des zones à plasma asépique où persistent des fantômes de feldspaths altérés à îlots résiduels non déplacés ; mais, dans les zones où l'organisation squelsépique est la mieux développée, ces îlots résiduels sont décalés les uns par rapport aux autres de quelques dixièmes de mm ou, plus souvent, ont subi des rotations importantes. Ces dernières mesurées à partir de fragments de plagioclases dont on peut raccorder les macles, atteignent plusieurs dizaines de degrés (Pl. II photo 7). Présence d'amas ferrugineux centrés sur des biotites. Porosité essentiellement fissurale, quelques pores circulaires, parfois revêtus d'argilanes jaunes.

40-130 cm : HORIZON B VERTIQUE

A la base (120 cm), assemblage porphyrosquelique. Le plasma est plus nettement orienté ; à la périphérie des grains du squelette, autour des vides et dans des domaines isolés dans la masse du plasma (squel-vo-insépique, Pl. II photo 8). Les domaines orientés comportent un squelette fin abondant, presque absent ailleurs. Les lamelles de biotite se dissocient et tendent à s'aligner parallèlement à l'orientation du plasma (Pl. II photos 9 et 10). Localement, ces lamelles de biotite passent de façon continue à des bandes d'argile orientée et prennent ainsi l'aspect d'argilanes ou de papules. Des argilanes bordent certains vides fissuraux ou circulaires ; ils comportent des fragments de biotite alignés. La plupart des cristaux de biotite sont fortement ferruginisés, presque opaques, identifiables seulement par leur forme et leurs clivages. Même type de porosité.

En allant vers le sommet de l'horizon, l'orientation du plasma se fait plus intense (vo-squel-masépique), les minéraux primaires en cours d'altération sont moins abondants, les biotites sont pratiquement toutes dissociées en lamelles élémentaires plus ou moins dispersées dans le fond matriciel. Apparaissent au sein du plasma des domaines ferruginisés bruns, généralement centrés sur des amas de lamelles de biotite opacifiées par les oxydes de fer ; à bord légèrement diffus lorsqu'ils sont peu contrastés par rapport au plasma jaunâtre environnant, ils deviennent bien circonscrits en se chargeant de fer pour passer ensuite à des nodules presque opaques analogues à ceux du profil G_I1.

25-40 cm : SOMMET DE L'HORIZON B

L'assemblage est agglomeroplasmique avec des vides mamelonnés plus ou moins interconnectés. Le plasma est brun avec localement des granulations ferrugineuses plus foncées légèrement diffuses ; son orientation est squel-vo-masépique. Les argilanes sont minces et rares. Les paquets flexueux de lamelles de biotite disparaissent à ce niveau. Quelques nodules ferrugineux sont présents, ils sont arrondis, sans organisation interne autre qu'un cortex plus foncé.

0-25 cm : HORIZON A

L'assemblage est agglomeroplasmique à intertextique. Le plasma est brun en lumière normale, peu biréfringeant, riche en granules de matière organique. Il n'y a pas d'argilanes. La porosité est assez forte, constituée d'orthovides. On note la présence de quelques nodules identiques à ceux de l'horizon sous-jacent.

C. CONCLUSIONS ET INTERPRÉTATIONS

La genèse du plasma argileux est analogue à celle du profil sommital. Là encore, on observe la transformation sur place des minéraux altérables en plasma argileux ou argilo-limoneux, particulièrement nette dans les horizons C et BC. Toutefois, la réorganisation du plasma d'altération est beaucoup plus précoce. De la base vers le sommet du profil, on constate la séquence d'organisations suivante :

Tableau IX. — SÉQUENCE VERTICALE DES ORGANISATIONS MICROMORPHOLOGIQUES ET DES MACROSTRUCTURES DANS LE PROFIL G_I2.

Horizon	Plasma	Assemblage	Macrostructure
C	Asépique	Porphyrosquelique	Massive
BC	Squelsépique	»	Massive à tendance prismatique
B vertique	Squel-vo-insépique ↓ Squel-vo-masépique	» »	Prismatique à faces lissées
B cubique	Squel-vo-masépique	Agglomeroplasmique	Cubique en assemblage prismatique
A	Tendance masépique	Agglomeroplasmique à intertextique	Prismatique

Le rôle des contraintes dans l'orientation du plasma est matérialisé par les déplacements corrélatifs des grains du squelette. Ceux-ci sont repérables pour deux sortes de minéraux ; les plagioclases et les biotites, parce qu'il est possible, grâce à leur structure maclée ou phillitteuse d'attribuer à un même cristal des fragments dissociés et déplacés. On constate ainsi, dans l'horizon BC, que l'orientation du plasma autour des grains du squelette (squelsépique) est concomitante de déplacements et surtout de rotations importantes qui, bien que déterminés par les changements de volume du plasma lui-même, entraînent au contact des grains l'alignement des particules argileuses (photo 7 pl. II). Ce mécanisme a déjà été suggéré par LAFEBER (1962, in BREWER, 1964 et 1970). Plus haut dans le profil (base du B), lorsqu'apparaissent des îlots orientés au sein du plasma (insépique), les biotites se dissocient et leurs lamelles s'alignent, matérialisant ainsi les lignes de force et les déplacements. Leur plasma d'altération peut alors acquérir une orientation suffisante pour prendre l'aspect d'argilanes ou de papules (MERMUT *et al.*, 1971). De telles observations montrent également que ces contraintes sont aussi à l'origine de la réorganisation du squelette : dissociation des grains fracturés et leur dispersion dans le fond matriciel.

La suite des organisations micromorphologiques observée de la base du profil vers le sommet de l'horizon B se corrèle avec la succession des macrostructures (Tableau IX). L'orientation du plasma augmente lorsque s'accentue la structure vertique (BLOKHUIS *et al.*, 1970).

Les argilanes sont un peu plus abondants que dans le profil amont (4 à 6 % dans le B) et également plus profonds. Ils entraînent fréquemment des lamelles de biotite, ce qui suggère qu'ils s'alimentent à partir du plasma environnant.

La différenciation des nodules ferrugineux est analogue à celle décrite plus haut, elle procède par imprégnation de biotites et de plasma, indépendamment des mouvements de l'argile.

Comme en G_I1, la forte diminution du plasma dans l'horizon A, qui s'amorce dès le sommet du B, ne peut être mise en relation avec des structures d'illuviation d'importance comparable. Toutefois, la réorganisation accentuée du fond matriciel par les efforts internes auxquels il est soumis ne permet pas d'éliminer la possibilité d'une intégration rapide des argilanes au plasma, encore que l'absence de papules n'appuie guère cette hypothèse.

En conclusion, le rôle prépondérant de l'altération dans la formation du plasma de l'horizon B est plus difficile à mettre en évidence dans ce profil que dans le profil amont par suite du chevauchement des phénomènes d'altéroplasmation et de pédoplasmation. Mais l'étude des filiations entre les diverses organisations et l'analyse du mode de différenciation du plasma orienté confirment cette prépondérance. Toutefois, la part réelle de l'illuviation argileuse dans l'enrichissement en argile de l'horizon B ne peut être appréciée car les argilanes peuvent être intégrés au fond matriciel par le dynamisme interne de l'horizon (NETTLETON *et al.*, 1969 ; FEODOROFF, 1968-1970 ; STOOPS, 1968). Il est probable qu'elle est un peu plus accentuée que dans le profil amont, ne serait-ce que par la suite de la fréquence légèrement supérieure des argilanes. La part de cette illuviation n'en reste pas moins faible.

LE PROFIL DE BAS DE PENTE G_I4 (vertisol)

A. DESCRIPTION MACROMORPHOLOGIQUE

0-20 cm : ***Horizon A*** — Brun foncé (10YR 4/2) — Argilo-sableux — Structure cubique 3-4 cm en assemblage prismatique lâche (fentes de 1 cm) ; prismes de 7 à 15 cm. Cohésion très forte. Porosité tubulaire faible.

20-50 cm : ***Horizon B*** contraste très faible, transition 5 cm — Même teinte, présence de feldspath, quelques nodules noirâtres indurés — Argilo-sableux — Structure prismatique 10 cm en assemblage lâche (les fentes, ouvertes lors du creusement de la fosse, disparaissent à la base de cet horizon ; après séchage, elles atteignent 120 cm), sous structure en plaquettes obliques à faces fortement lissées et striées — Cohésion très forte — Porosité non visible.

50-120 cm : ***Horizon Bca*** contraste moyen, transition 15 cm. Brun olive (2,5Y 5/3) homogène — Nombreux feldspaths — Présence de nodules calcaires à surface blanche, jaunâtre ou brune, ∅ 0,5-2 cm, d'amas pulvérulents, soit de petite taille et de forme irrégulière, soit en auréole autour des nodules plus gros. Quelques nodules ferromanganésifères pas très indurés — Argilo-sableux. —Structure prismatique 15-20 cm, sous structure en plaquettes obliques à faces fortement lissées et striées, assemblage compact, cohésion très forte — Porosité non visible.

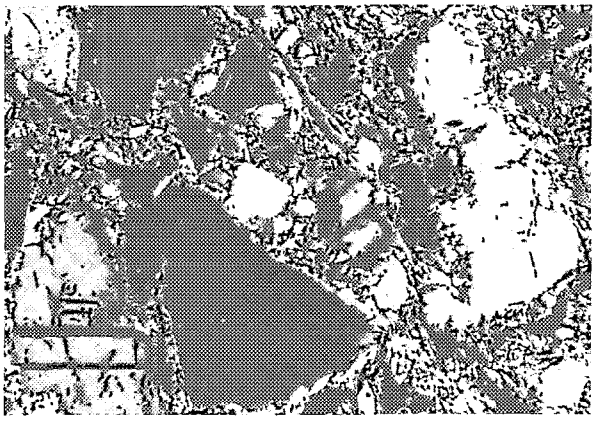
120-160 cm : ***Horizon BCca*** contraste faible transition 15 cm. Brun olive un peu plus clair (2,5Y 5,5/3), petites taches polygonales ocres (10YR 5/8), riche en feldspaths, même nodulation calcaire. Vers la base, quelques îlots arénacés ∅ 5-10 cm à structure conservée. Même structure, faces obliques lissées moins développées. Porosité non visible.

160 cm : ***Horizon C*** contraste fort, transition rapide, sinueuse — Arène à structure conservée, très riche en minéraux ferromagnésiens — Non calcaire.

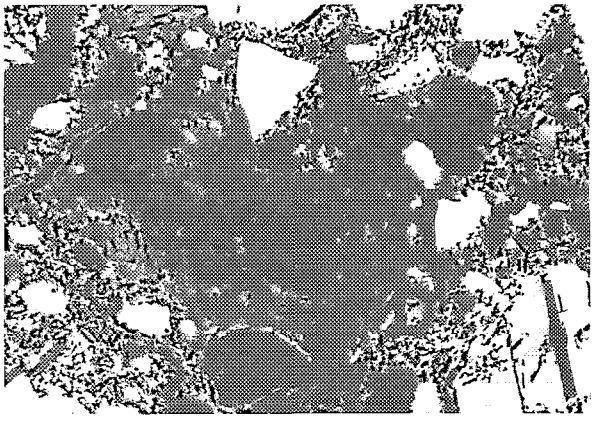
Enracinement peu abondant, disparaît vers 30 cm.

Nous sommes ici en présence d'un vertisol typique : teinte foncée de la partie supérieure du profil, structure vertique (faces de glissement) sur l'ensemble du profil, horizon A exclu, texture lourde dès la surface. Cependant, dans la partie amont de la zone à vertisols, une fine pellicule sableuse millimétrique coiffe l'horizon A et pénètre dans les fentes qu'elle tapisse d'une mince couche légèrement plus claire (mais non blanchie) que le corps des prismes et qui s'en détache aisément (profil G_I3 non décrit). Ceci traduit un apport par ruissellement de sables issus des horizons A de l'amont, qui s'incorpore peu à peu à l'horizon supérieur et en allège la texture qui est sablo-argileuse alors qu'elle devient argilo-sableuse en bas de pente.

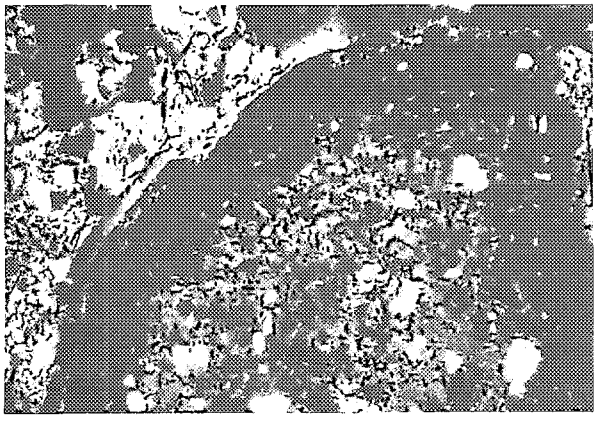
GARANGO I : LE VERTISOL AVAL ET SES NODULES CALCAIRES



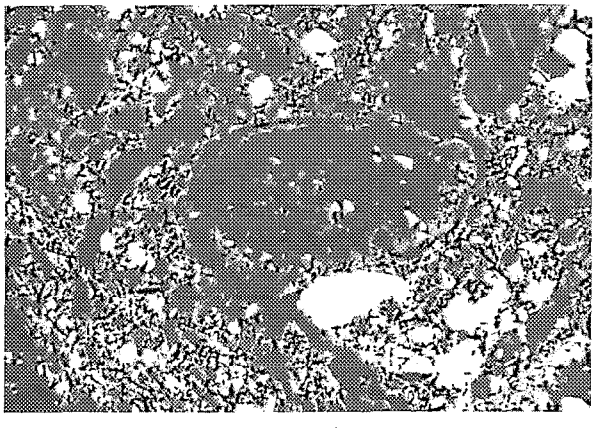
11. L.P. — Horizon BC de vertisol ($G_1$4). Plagioclase (à l'éclairement commun) à bords dentelés. Le plasma est déjà squel-vo-insépique.



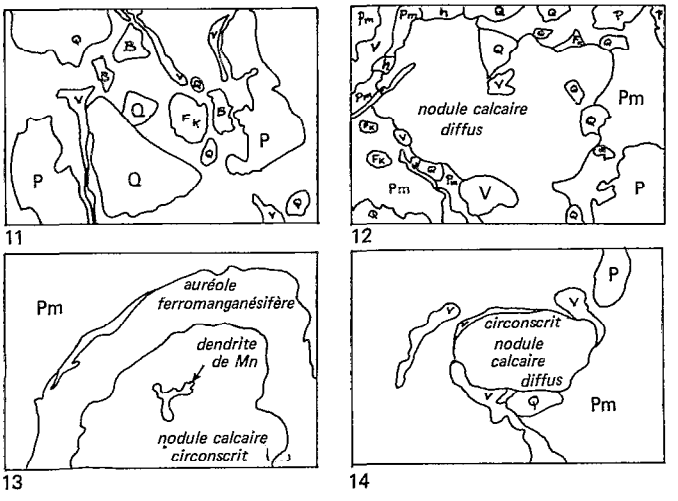
12. L.P. — Horizon B_{Ca} de $G_1$4. Nodule calcaire à limite diffuse. Imprégnation diffuse d'oxydes de fer.



13. L.P. — Nodule circonscrit à concentration ferrugineuse périphérique et oxydes de manganèse dendritique dans la masse. Horizon B_{Ca} de $G_1$4.



14. L.P. — Nodule circonscrit vers le haut de la photo, diffus vers le bas. Imprégnation ferrugineuse presque uniforme. Horizon B_{Ca} de $G_1$4.



V : vide
Pm : plasma dominant
Fk : feldspath potassique
P : plagioclase
Q : quartz
B : biotite

B. ÉTUDE MICROMORPHOLOGIQUE

Le ***plasma*** est fortement orienté (vo-squel-masépique) dès la base du profil où l'on ne trouve que de très rares domaines de plasma d'altération asépique. Les cristaux de feldspath ou d'amphibole ont un aspect assez sain, mais leur bordure est généralement irrégulière, dentelée et comme corrodée par le plasma environnant (Pl. III photo 11). Les biotites, fortement ferruginisées dès l'horizon BC, sont exfoliées, mais des paquets de lamelles, plus ou moins disjointes se maintiennent jusqu'au milieu du B. Les grains du ***squelette*** sont peu fissurés, de taille hétérogène ; le squelette fin apparaît dès la base du profil et augmente vers le sommet.

Tout se passe comme si les produits d'altération des minéraux primaires étaient immédiatement réorganisés par la pédoplasmation ; les cristaux, fragilisés par l'altération, seraient également dissociés par les contraintes mécaniques qui se manifestent à la fois dans la macrostructure (faces de glissement) et dans la microstructure (orientation généralisée du plasma), d'où leur aspect relativement sain.

Une telle conclusion ne peut toutefois être avancée qu'à la suite de l'étude micromorphologique de la séquence latérale d'organisation des horizons B de la chaîne qui nous a montré, de l'amont vers l'aval, le télescopage progressif de l'altéroplasmation et de la pédoplasmation à mesure que se différencie la structure vertique.

Les nodules calcaires présentent plusieurs aspects, déjà décrits et recensés par BREWER (1964) puis BLOKHUIS *et al.*, (1968).

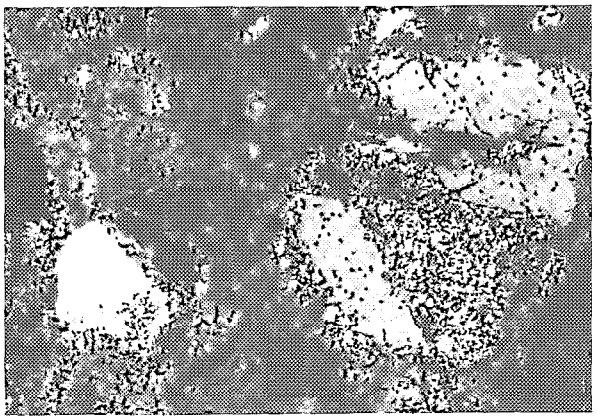
— ***Nodules diffus***, ∅ 0,5-2 mm, ou amas de petits nodules diffus plus ou moins jointifs, à forme irrégulière, microcristallins. Leur teinte est grisâtre en lumière normale, avec ou sans taches brunes. Ils englobent des grains de squelette avec une fréquence égale ou légèrement inférieure à celle du fond matriciel environnant. L'orientation du plasma à leur périphérie est indépendante de leur limite ; ils ne sont donc pas indurés (Pl. III photo 12).

— ***Nodules circonscrits*** à bords francs, $\varnothing > 1$ mm, à dominance microcristalline mais à lisérés plus largement cristallisés (10 à 15μ) autour des grains de squelette, en bordure du nodule (de façon plus ou moins continue), en filonnets à forme polygonale ou circulaire au sein de la masse cristalline. Ces nodules peuvent être uniformément grisâtres et exempts d'oxydes métalliques, ou comporter des imprégnations ferromanganésifères brun foncé à leur périphérie et des accumulations dendritiques de manganèse à leur centre (Pl. III photo 13), ou enfin être imprégnés d'oxydes de fer brun uniformément répartis ou en amas diffus (Pl. III photo 14). Les concentrations périphériques de fer et dendritiques de manganèse n'existent que dans les nodules cohérents ; elles sont vraisemblablement postérieures à la différenciation du nodule (BLOKHUIS, 1968). Les amas ferrugineux existent par contre à tous les stades et peuvent correspondre à des reliques du plasma initial imprégné par le calcaire.

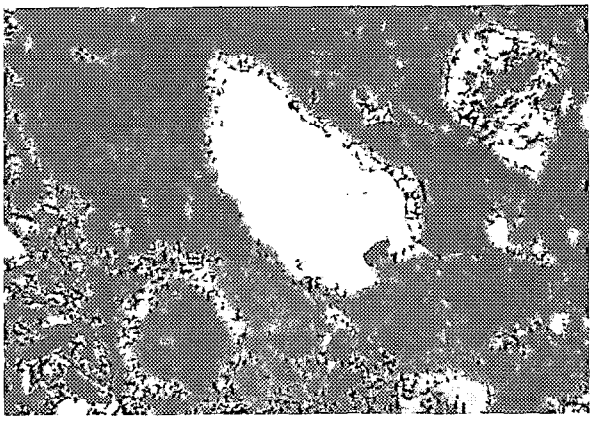
Ce second type de nodule est auréolé de plasma orienté parallèlement à sa limite (cutanes de contrainte), il a donc acquis une certaine cohésion. Toutefois, un même nodule peut être bien circonscrit et à cutane de contrainte sur une partie de sa bordure et diffus ailleurs (Pl. III photo 14). Ceci permet de considérer le nodule diffus comme le stade précurseur du nodule cohérent. Tous ces stades, qui existent simultanément dans les sols non vertiques (RUELLAN, 1970), cohabitent également dans les horizons vertiques ; il n'apparaît plus nécessaire d'admettre que les nodules se sont différenciés avant l'acquisition des caractères vertiques (BLOCKUIS *et al.*, 1968). La filiation est alors la suivante : nodule diffus, non induré, correspondant aux petits amas pulvérulents observés à l'œil nu ; durcissement de tout ou partie du nodule (recristallisation partielle), croissance périphérique par accumulation de calcaire diffus (amas pulvérulents entourant les nodules cohérents), qui durcit au contact du nodule, ainsi que le montrent les figures de croissance.

Les nodules circonscrits englobent toujours du squelette, mais en proportion beaucoup moindre que le fond matriciel environnant. De plus on constate que les cristaux de minéraux primaires, quartz et feldspaths principalement, sont ***épigénisés par la calcite.*** En effet, il est

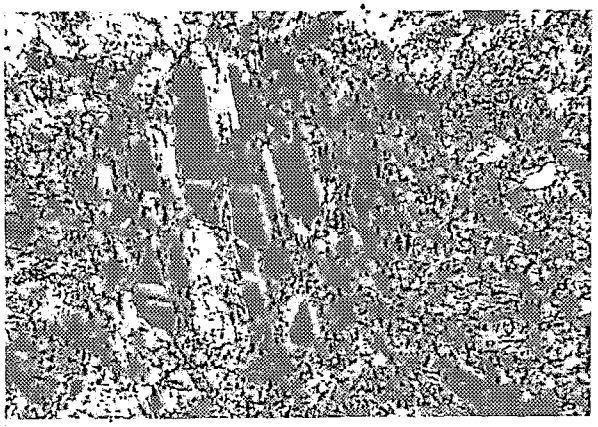
GARANGO I : EPIGÉNIE DES MINÉRAUX PRIMAIRES PAR LA CALCITE



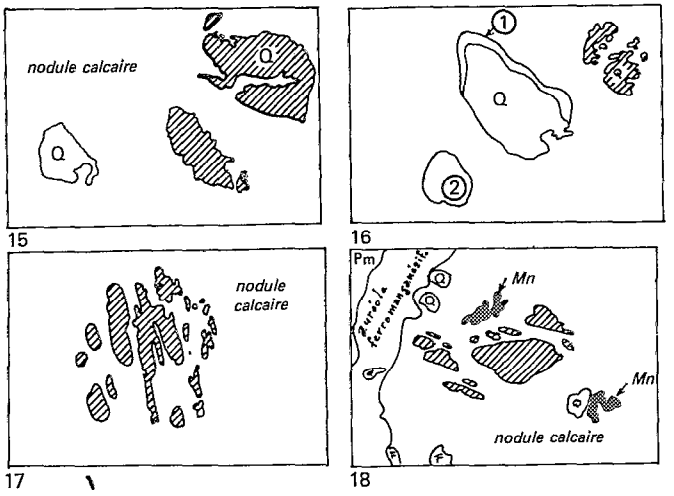
15. L.P. — Quartz épigénisé par la calcite dans un nodule calcaire.



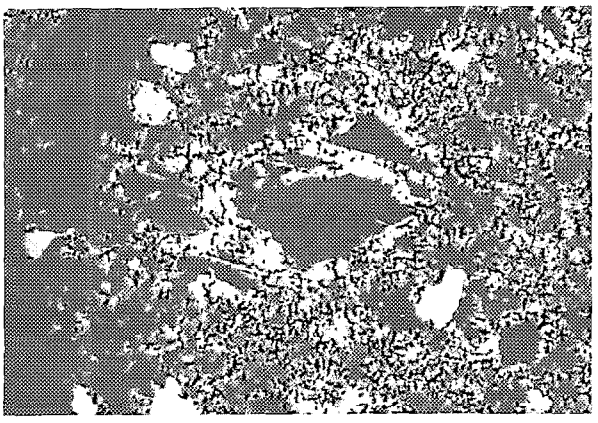
16. L.P. — Quartz épigénisé par la calcite dans un nodule calcaire.



17. L.P. — Plagioclase épigénisé par la calcite dans un nodule calcaire.



Échelle : 0,5 mm



18. L.P. — Feldspath K épigénisé par la calcite dans un nodule calcaire.

restes d'un unique cristal primaire

(1) calcite plus largement cristallisée à disposition rayonnante autour des cristaux

(2) fantôme de minéral primaire ?

Q : quartz

F : feldspath

Mn : dendrite de manganèse

Pm : plasma dominant

très fréquent de trouver des fragments d'un même cristal de quartz (ou d'autre minéral primaire) noyés dans un fond calcitique et qui n'ont absolument pas été déplacés (Pl. IV). Une telle disposition ne peut s'expliquer que par la dissolution du minéral primaire et son remplacement par la calcite. Il est en effet exclu que cette dissolution ait eu lieu avant la formation du nodule car la dynamique interne de l'horizon eut nécessairement déplacé les fragments. Ceci implique au contraire que cette épigénie se fait dans le nodule déjà suffisamment cohérent pour résister aux contraintes mécaniques développées par les alternances de gonflement et de retrait. Si cette disposition en îlots résiduels non déplacés, qui résulte d'un mode particulier de dissolution et de remplacement (par l'intermédiaire de fissures) est précieuse pour montrer la réalité de l'épigénie, on constate cependant que tous les minéraux primaires présents dans les nodules ont le même aspect de bordure que les îlots résiduels : limite dentelée ou présentant golfes de corrosion, cristallisation plus large et radiale de la calcite. Ils sont donc eux aussi en cours d'épigénie. Il est même probable que les filonnets à forme polygonale mentionnés plus haut constituent la trace de minéraux primaires disparus (Pl. IV photo 16). Cette épigénie se manifeste très précocement, dès le stade nodule diffus, mais elle est alors discrète et ne se décèle que par analogie avec le même phénomène observé dans les nodules circonscrits.

Ce phénomène semble banal dans les grès à ciment calcaire (PETTIJOHN, 1957, 1972 ; WALKER, 1962 ; DAPPLES, 1967). Il a été observé dans certaines croûtes calcaires (NAGTEGAAL, 1969 ; ARISTARAIN, 1971). Il apporte une nouvelle explication (déjà envisagée par NAHON en 1970 — communication orale) de la pauvreté des nodules en éléments clastiques par rapport au fond matriciel environnant. Attribuées soit à une origine alloctone des concentrations calcaires (DURAND, 1959) soit à l'expulsion du squelette sous l'effet de la pression de cristallisation de la calcite (RUELLAN, 1970 ; BOULAINE, 1971), les faibles teneurs en squelette des nodules sont dues ici à son épigénie par la calcite.

On notera enfin que, dans ce profil, la nodulation calcaire se fait exclusivement par imprégnation du plasma et n'est jamais en relation avec les pores ou les fentes naturelles (on n'observe pas de calcitanes). A l'égal des concentrations ferrugineuses décrites précédemment, cette nodulation calcaire évoque plus une redistribution du calcaire libéré in situ par altération qu'un apport extérieur au profil.

Les seuls autres traits pédologiques sont des nodules ferromanganésifères qui présentent le même mode de différenciation que ceux décrits à l'amont : imprégnation du plasma, ou de minéraux ferromagnésiens altérés, par concentration localisée, dissociée de toute migration d'argile, à forme irrégulière ; puis régularisation des bordures et formation d'un cortex. L'absence totale d'argilanes et de papules, même dans l'horizon supérieur non vertique, indique que les migrations d'argile, si elles existent, sont très limitées.

CONCLUSIONS

Les principales conclusions, qui peuvent être dégagées de l'étude de cette toposéquence de Garango I, sont les suivantes :

1. Formation essentiellement autochtone de l'horizon B argileux par altération des minéraux primaires (quartz exclu) dont les teneurs diminuent de bas en haut à mesure que le plasma argileux augmente. Ce mode de genèse du B s'observe clairement à l'amont où les mécanismes d'altéroplasmation (formation du plasma à partir des minéraux primaires) et de pédoplasmation (réorganisation de l'altéroplasma par pédoturbation) ne se chevauchent qu'au sommet du profil, au-dessus du maximum d'argile. Il est moins évident vers l'aval où ces deux mécanismes se superposent de plus en plus étroitement à mesure que les caractères vertiques s'accentuent ; mais on le déduit de l'étude des séquences de différenciation intermédiaires entre le sol brun eutrophe de l'amont et le vertisol aval.

2. Faiblesse des manifestations de migration d'argile, significative d'une illuviation

très réduite à l'amont, plus difficilement interprétable vers l'aval où la pédoturbation est susceptible de détruire les argilanes.

3. Domaine éluvial limité à la partie supérieure des profils. Appauvrissement superficiel en plasma décroissant de l'amont vers l'aval.

4. L'individualisation verticale, de bas en haut, des sesquioxydes métalliques par imprégnation de minéraux ferromagnésiens altérés et/ou de plasma, indépendamment des migrations éventuelles de l'argile.

5. Formation des nodules calcaires de l'horizon Bca des vertisols également par imprégnation du plasma. Absence de dépôts calcaires associés aux parois des vides. L'accumulation calcaire localisée à l'aval de la toposéquence apparaît être principalement liée à la variation latérale de la roche mère, qui est plus basique dans les parties basses du modelé. La part éventuelle des migrations latérales dans cette accumulation sera examinée lors de la présentation des données géochimiques.

II. LA TOPOSÉQUENCE DE SOFFOKEL (voir localisation fig. 1)

INTRODUCTION

La région de Soffokel est constituée d'une enclave de ***migmatites et gneiss*** au sein du complexe birrimien à shales et roches basiques. Ces roches sont fortement orientées et à schistosité redressée (pendage de 60° vers le NE). Leur composition pétrographique varie rapidement. Ainsi le versant étudié est installé sur une série métamorphique où se succèdent :

— De l'amont au milieu du versant : un gneiss à grain fin (0,1 mm) à biotite, épidote et grenat — Biotite et épidote occupent plus de la moitié du volume de la roche. L'épidote (pistachite) est presque aussi abondante que la biotite. Les autres minéraux sont quartz, feldspath potassique et plagioclase.

— Sur la moitié aval : gneiss très quartzeux, à grain également fin, à biotite, sans plagioclase ni épidote, alternant avec des quartzites fins à amphibole. Ces derniers, plus résistants, affleurent parfois.

A Soffokel, la relation entre le modelé et la basicité de la roche mère est donc inverse de celle de Garango I : la roche la plus basique est à l'amont à Soffokel, tandis qu'elle est à l'aval à Garango I.

Le ***modelé*** est constitué d'interfluves larges de 1,5 à 2 km, surbaissés, à sommet arrondi. La pente des versants est très faible, inférieure à 1 %. Le réseau de drainage est bien hiérarchisé, nettement visible sur le terrain et sur photographie aérienne. Le versant étudié est long de 900 m, sa pente est de 0,7 %, sa forme est légèrement convexo-concave (fig. 13).

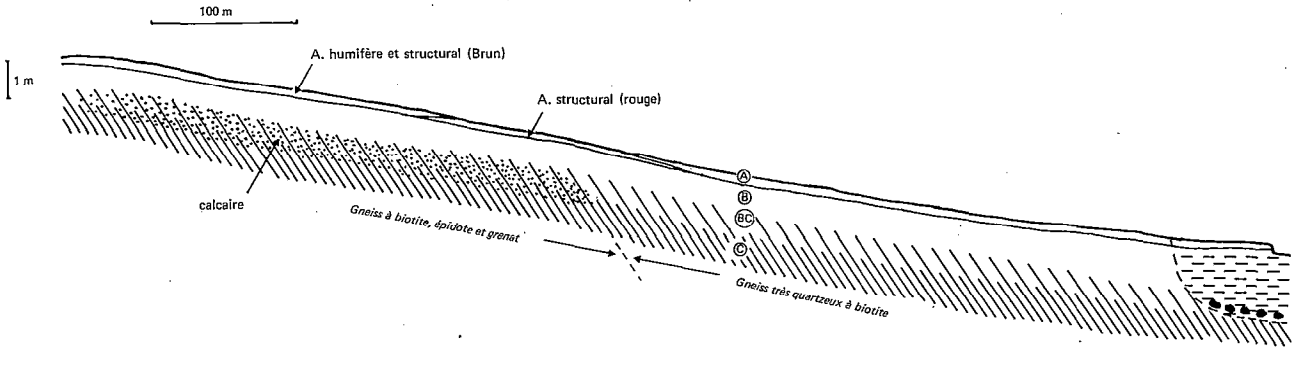


FIG. 13. — Coupe de la toposéquence de Soffokel.

Il se termine par une étroite plaine alluviale, où sinue un lit profond de 0,4 m, large de 2,5 à 3 m.

La végétation est une steppe contractée à *Acacia Seyal, Acacia adstreingens, Balanites aegyptiaca*. Les arbustes, très clairsemés sur les glacis, se concentrent dans les thalwegs. Le tapis graminéen, à base de *Schoenfeldia gracilis*, est très discontinu, même en hivernage où il constitue des taches vertes isolées sur la surface brun-rouge du sol nu.

LES SOLS

Les sols bruns subarides vertiques couvrent la totalité du versant. Leur font suite, sur la petite zone alluviale, des vertisols à caractères vertiques moyennement accentués.

La ***morphologie des sols bruns subarides vertiques*** se distingue de celle des sols bruns eutrophes vertiques par une moindre épaisseur du profil (moyenne 130 cm pour les premiers, 180 pour les seconds), un horizon A moins humifère et plus coloré (chroma plus élevé), un appauvrissement superficiel en argile faible ou nul.

A Soffokel, leur profil est remarquablement constant quant à l'épaisseur, la structure et la texture des horizons :

0-25 cm : ***Horizon A*** — Brun (7,5YR 4/4) ou rouge (2,5-5YR 4/4) — Argilo-sableux — Structure cubique 2-4 cm en assemblage prismatique lâche, cohésion très forte. Porosité d'assemblage forte, porosité des agrégats faible.

25-120 cm : ***Horizon (B)*** — Brun (7,5-10YR 4/3) — Légèrement plus argileux — Structure prismatique 5-10 cm, sous structure cubique au sommet, puis en plaquettes à petites faces lissées striées, cohésion très forte — Assemblage compact. Porosité tubulaire faible.

120-160 cm : ***Horizon (B)C*** Horizon de transition avec le matériau — Apparition de bandes obliques de roche altérée bleutée alternant avec des bandes terreuses brunes, sablo-argileuses, polyédriques — Compact.

> 160 cm : ***Horizon C*** Roche altérée bleutée, tendre, se débitant en plaquettes.

L'enracinement est présent ou absent selon que l'on se trouve sur une zone couverte de graminées ou dénudée. Il est toujours peu abondant et disparaît entre 30 et 40 cm.

Les variations latérales ont trait exclusivement :

1. A la couleur et, dans une moindre mesure, à l'épaisseur de l'horizon A ;
2. A la présence ou à l'absence de calcaire.

(1) L'horizon superficiel est soit de couleur brune, soit de couleur rouge assez vif. Ces alternances sont bien visibles à la surface du sol. Elles se font à l'échelle de 20 à 50 m, mais il existe une certaine opposition entre la zone médiane du versant où l'horizon superficiel est uniformément rouge et l'amont ainsi que l'aval où la teinte brune domine (fig. 13). Bien que conservant une structure cubique très bien développée, les horizons A rouges sont un peu moins épais que les bruns (15 à 20 cm contre 20 à 30). L'épaisseur totale du profil correspondant est également en moyenne légèrement plus faible (de 10 à 20 cm).

Les zones rouges sont manifestement liées à l'action de l'érosion : fine pellicule de sable fin en surface, absence de végétation graminéenne, concentrations superficielles de cailloux quartzeux plus fréquentes, très légers décrochements en coup de pelle vers l'aval. Il s'agit là exclusivement d'une érosion en nappe. On n'observe en particulier jamais de ravines. La permanence de la structure cubique montre que celle-ci s'acquiert plus rapidement que la teinte brune liée à la matière organique et ceci d'autant plus que ces zones érodées sont difficilement recolonisées par la végétation herbacée.

(2) Une importante accumulation calcaire existe, qui est strictement localisée à la moitié amont du versant (fig. 13). Elle affecte la base de l'horizon B, l'ensemble de l'horizon BC

et le sommet du matériau d'altération à structure conservée. L'individualisation du calcaire s'effectue sous deux formes :

— Nodules atteignant 2 cm dans la partie terreuse. Ces nodules sont très nettement alignés parallèlement à la schistosité du matériau d'altération qu'ils prolongent jusqu'à la base du B.

— Pseudomycelium localisé dans le BC et dans le C sur les faces de décollement correspondant à la schistosité.

L'accumulation calcaire est donc guidée par les structures primaires héritées de la roche mère. La disparition vers l'aval de l'accumulation calcaire coïncide avec le changement de roche mère signalé précédemment : passage d'une roche calcique à épidote et plagioclase à une roche pauvre en minéraux contenant du calcium. En dehors de cette accumulation calcaire, l'uniformité latérale des horizons B, BC et C, tant du point de vue morphologique qu'analytique (ainsi qu'on le constatera plus loin), exclut l'existence d'un barrage mécanique ou physicochimique pour le calcaire et, par la même occasion, celle de migrations latérales notables. L'individualisation du calcaire apparaît donc ici comme essentiellement lithodépendante.

Données micromorphologiques : Dans l'horizon BC (parties terreuses), l'assemblage est porphyrosquelique à agglomeroplasmique. Le fond matriciel comporte un plasma d'altération asépique. Le squelette est fin (taille moyenne 0,1 mm, héritée de la roche mère). Les feldspaths sont altérés soit par corrosion périphérique soit dans la masse. Les biotites sont ferruginisées (elles donnent la teinte d'ensemble brune de l'échantillon), plus rarement argilifiées avec très faible pléochroisme et teintes de polarisation vives. L'épidote a fortement diminué par rapport au matériau sous-jacent. La nodulation calcaire, quand elle existe, est identique à celle décrite à Garango I (nodules diffus, nodules circonscrits, épigénie des minéraux primaires par la calcite). Les vides sont mamelonnés ou fissuraux. Ce sont des orthovides (pas de cutanes ni d'orientation parallèle aux parois).

Dans l'horizon B, on constate, de la base au sommet, une orientation progressive du plasma qui devient vo-squel-masépique, en même temps qu'il se colore en brun de façon uniforme, exception faite de quelques nodules ferrugineux inorganisés à contours plus ou moins irréguliers. Biotite et épidote disparaissent pratiquement au sommet de l'horizon. La proportion des vides fissuraux augmente.

En surface le squelette augmente légèrement par rapport au plasma. On n'observe que très peu de débris organiques. Quelques rares argilanes existent sur la paroi de certains pores.

Apparaissent au sommet du B et dans l'horizon A quelques grains de quartz grossiers (0,4 à 1 mm) très arrondis, polycristallins ou à extinction roulante. Ce type de quartz n'existe pas dans le matériau du sol, ce sont des sables éoliens issus des ergs voisins et intégrés au sommet du profil.

CONCLUSIONS

Par rapport à la toposéquence de Garango I, cette séquence présente tout d'abord des analogies :

— Mode de formation du plasma par altération in situ des minéraux primaires. Le plasma d'altération asépique, très caractéristique dans le BC, s'oriente progressivement en B. Le chevauchement altéroplasmation-pédoplasmation est à peu près identique à celui que l'on observe dans le sol de transition entre sol brun eutrophe et vertisol à Garango I. Cette réorganisation relativement précoce du plasma sera reliée ultérieurement au taux d'argile gonflante.

— Différenciation des traits pédologiques analogue mais avec individualisation ferrugineuse et traces d'illuviation beaucoup moindres.

Des différences très instructives apparaissent également ; ce sont :

— L'uniformité au long de la pente (compte non tenu du calcaire ni des variations morphologiques de l'horizon A) des sols et de leur organisation plasmique, si l'on excepte les vertisols qui apparaissent, de par la nature allochtone de leur matériau, comme des éléments étrangers auxquels ils sont simplement juxtaposés.

— La localisation du calcaire à l'amont qui souligne l'étroite relation existant entre la présence de minéraux calciques (épidote, plagioclases) et l'individualisation du calcaire et qui semble exclure l'existence de migrations latérales appréciables.

Si à Garango I il n'était pas possible, à la suite de la seule étude morphologique, de distinguer le rôle de la nature de la roche mère et celui du confinement aval, ici, grâce à la situation amont des roches les plus basiques, l'on peut affirmer que, sous climat sahélien (auquel on doit toutefois intégrer les variations climatiques qu'ont connues ces sols) et sur ce type de matériau, le sol est avant tout le reflet de la roche mère sous-jacente.

III. LA TOPOSÉQUENCE DE TASSAMAKAT (voir localisation fig. 1)

INTRODUCTION

La région de Tassamakat appartient à une vaste zone de ***granites migmatitiques*** calco-alcalins à biotite, à grain moyen, faiblement orientés, à composition minéralogique assez homogène. Ces granites affleurent rarement et il n'existe pas en particulier de massifs rocheux importants.

Le ***modelé*** est constitué de très long glacis (plusieurs km), à forme légèrement convexo-concave (cf. planche V.), à pente très faible (toujours inférieure à 1 %). Ces glacis se raccordent en haut de pente pour former des lignes de crête à si grand rayon de courbure qu'il est difficile de les localiser sur le terrain sans nivellement précis. Les axes de drainage sont très peu marqués, rarement incisés, décelables seulement à la densité un peu plus forte des arbustes et aux traces de piétinement des troupeaux en saison des pluies.

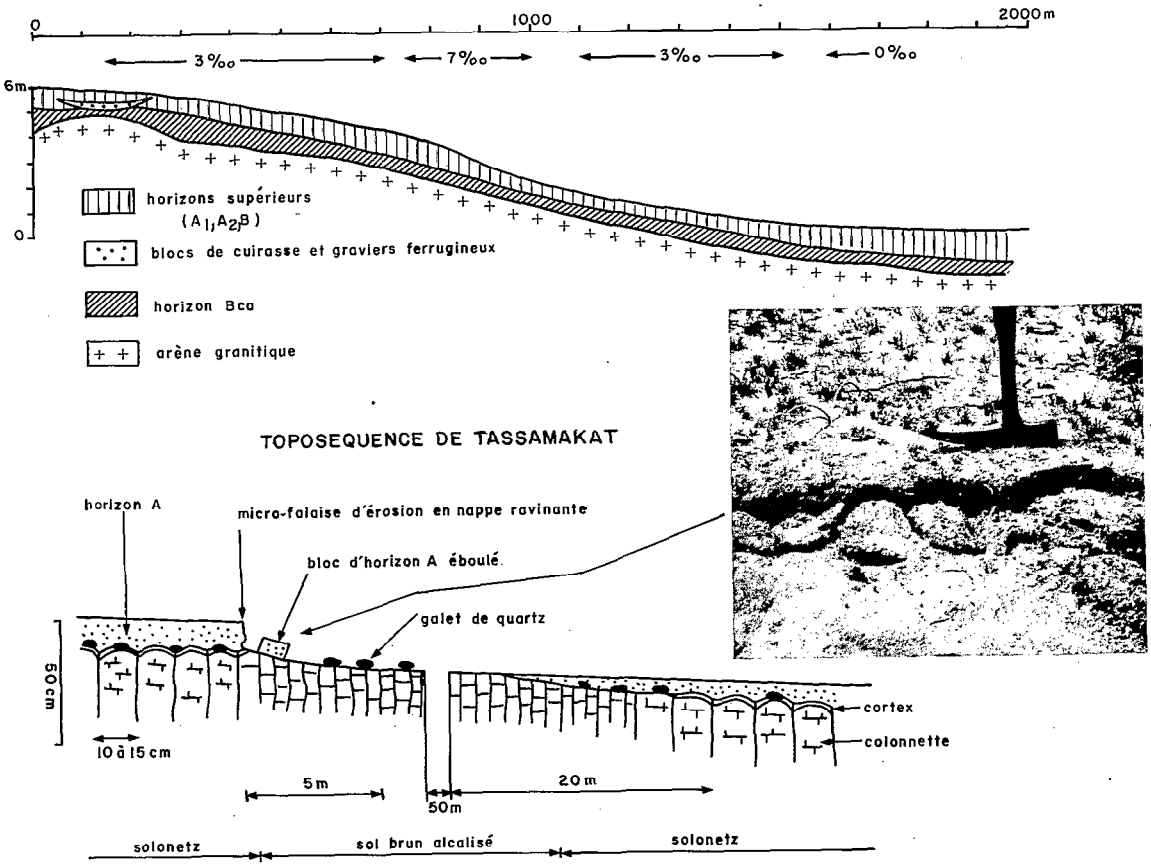
La ***végétation*** est une steppe à épineux *(Acacia Seyal, Acacia senegal, Balanites aegyptiaca)* piquetée d'*Adansonia digitata*. Le tapis herbacé est discontinu, laissant de vastes zones nues. Il est composé essentiellement de *Schoenfeldia gracilis, Aristida sp., Pennisetum pedicellatum*.

LES SOLS

Les 9/10 de la séquence sont constitués d'une alternance de solonetz et de sols bruns subarides alcalisés. A l'amont s'intercale entre ces sols un îlot résiduel de cuirasse démantelée. Tout à fait à l'aval, s'effectue une modification progressive du sol, qui porte principalement sur l'horizon de surface et le sommet de l'horizon B.

1. Les solonetz

Le profil des solonetz est très constant en ce qui concerne la morphologie des horizons. Les principales variantes ont trait à l'épaisseur des horizons et, plus particulièrement, de l'horizon de surface.



en haut :

FIG. 14. — Coupe de Tassamakat.

en bas :

FIG. 15. — Passage des Solonetz aux sols bruns.

La succession des horizons est la suivante

— ***Un horizon A*** gris (10YR 6/3), à fines taches brun ocre allongées, strié horizontalement, épais de 5 à 15 cm, finement sableux, massif, à débit horizontal plus aisé, assez compact. A sa base, et épousant le sommet des colonnettes de l'horizon sous-jacent, mince liséré (0,5 cm) de sable éclairci beige clair (10YR 6,5/4), à structure aplatie, courbe, très fragile, parallèle au sommet des colonnettes ; poreux.

— ***Un horizon B*** columnaire de 30 à 40 cm. Les colonnettes (⌀ 10-15 cm) sont coiffées d'un cortex gris (10YR 6,5/1), adhérant à sa base à la colonnette, et qui passe au niveau sableux éclairci en se débitant en plaquettes courbes. Le corps des colonnettes est légèrement rouge (7,5YR 4/4) avec quelques concrétions brun noirâtre ; argilo-sableux ; sous-structure cubique de 2 à 4 cm, matérialisée par des fentes orthogonales discontinues, mais malaisément dissociable. La cohésion est très forte, l'horizon très dur. La porosité des agrégats est faible.

— ***Un horizon B taché***, à pseudogley léger, épais de 100 à 150 cm, argilo-sableux, prismatique avec quelques faces lissées, à cohésion très forte et grande dureté. Le calcaire apparaît dès le milieu de cet horizon (amas pulvérulents, nodules, pseudomycelium), sa teneur est maximum à la base du profil, immédiatement au-dessus de l'arène qui, elle, n'est jamais calcaire.

— ***Le passage à l'arène***, sableuse et cohérente, est brutal ; il s'effectue entre 150 et 200 cm de profondeur (cf. Pl. V fig. 14). Cette limite est ondulée, parfois glossique, les langues de B coïncidant avec des diaclases.

Des quartz à arêtes légèrement émoussées, de 1 à 5 cm, sont fréquemment présents à la base de l'horizon A ; ils sont accompagnés de nodules ferrugineux ⌀ ⩾ 5 mm, peu abondants.

L'enracinement graminéen est abondant dans l'horizon supérieur, il disparaît dès le sommet des colonnettes.

Étude micromorphologique

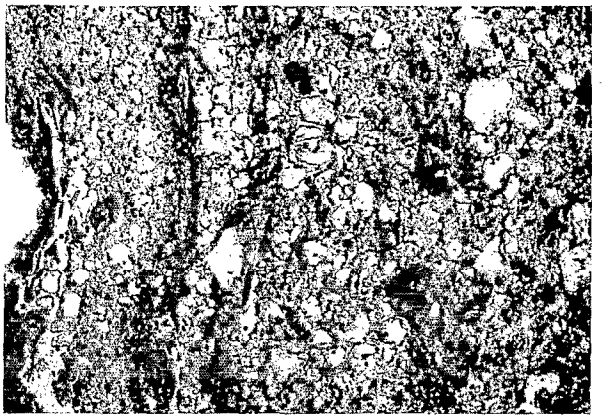
Dans ***l'horizon C*** (arène) la structure de la roche est conservée mais, à son sommet, l'altération des minéraux primaires est déjà avancée. La tendance des plagioclases est plutôt de s'altérer dans la masse en passant par tous les intermédiaires entre le cristal sain et un plasma asépique, tandis que les feldspaths K subissent une transformation périphérique ou le long des fissures. Les biotites se ferruginisent ou, plus rarement, s'argilifient.

A la ***base de l'horizon B prismatique***, le plasma augmente brusquement mais il s'oriente aussi rapidement. Squel-vo-insépique avec encore d'appréciables surfaces constituées de fantômes de feldspaths à plasma asépique juste au-dessus de l'arène, il est entièrement squel-vo-masépique 20 cm au-dessus (Pl. VI photo 23). De la même façon qu'en G_T2 à Garango I, on constate, en suivant les déplacements des fragments de plagioclases ou des lamelles de biotites issus d'un même cristal que cette orientation correspond à une réorganisation quasi sur place du plasma. Cette différenciation s'accentue vers le haut, principalement par augmentation du squelette fin dispersé dans le plasma. Simultanément apparaissent autour de certains pores des zones à fond matriciel granulaire (isotubules). La porosité est de type fissural, peu développée ; l'assemblage est porphyrosquelique.

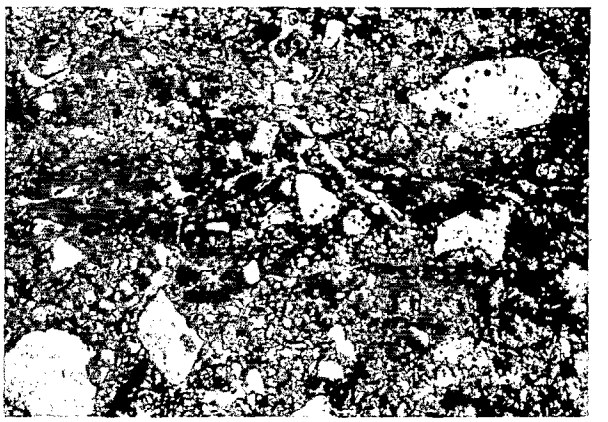
L'individualisation du calcaire s'effectue soit par imprégnation du plasma, soit par concentration de calcaire à partir de pores avec disposition rayonnante des cristaux de calcite à partir de la lumière centrale. Les moins développées de ces concentrations correspondent au pseudo-mycelium, les plus développées à des septaria. Quel que soit le type de différenciation, le squelette englobé est épigénisé par la calcite.

On observe également une nodulation ferrugineuse discrète, d'abord par imprégnation de plasma à partir de biotites ferruginisées, suivie d'une augmentation de taille avec régularisation des limites, orientation périphérique du plasma et apparition de fissures courbes à son contact.

TASSAMAKAT : LES SOLONETZ



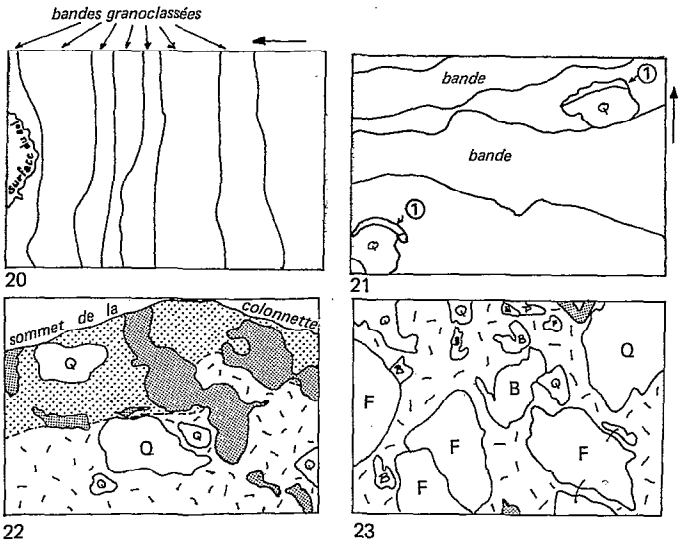
20. L.N. — Horizon A de Solonetz. Sédireliques.



21. L.N. — Horizon A de Solonetz. Banded fabric.



22. L.N. — Sommet d'une colonnette et son cortex.



Échelle : 20, 21 — 1 mm
22, 23 — 0,5 mm



23. L.P. — Base d'horizon B de Solonetz. Fond matriciel à plasma squel-vo-masépique.

cortex

fond matriciel à plasma squel-vomasépique

vides

① coiffes

Q : quartz F : orthose B : biotite altérée

P : plagioclase

Le léger pseudogley observé macroscopiquement dans l'horizon B est peu visible en lame mince ; il semble correspondre à de faibles variations de teinte du plasma en lumière normale.

Au ***sommet de l'horizon B prismatique*** (vers 50 cm), la porosité fissurale est remplacée par une porosité tubulaire plus développée. Le plasma acquiert une teinte brune homogène en lumière normale. Les biotites ont disparu excepté quelques rares lamelles ferruginisées ; les feldspaths en cours d'altération sont rares. Des argilanes bien orientés apparaissent mais restent peu abondants, ils sont parfois fracturés et dissociés en papules.

Dans ***l'horizon B columnaire*** et particulièrement à son sommet, les argilanes sont plus abondants, certains épais (0,5 mm), très bien orientés, souvent fracturés. La transition avec le cortex s'effectue par passage rapide, quasi-linéaire, à un fond matriciel granulaire délimitant des orthovides arrondis (porosité alvéolaire — Pl. VI photo 22).

L'horizon A est à large dominance de squelette presque jointif (assemblage intertextique) riche en grains fins de la taille des limons. Le plasma est argilo-humique. Il est irrégulièrement réparti et l'on observe :

— Au sommet et sur 3 à 5 mm de minces bandes (0,2 mm) de plasma argileux gris brun, légèrement orientées parallèlement à leur allongement, séparant des couches de squelette granoclassé épaisses de 0,3 à 1 mm (cf. Pl. VI photo 20). Le granuloclassement s'estompe puis disparaît plus bas.

— Dans le corps de l'horizon (Pl. VI photo 21).

- Des concentrations en bandes de 0,5 à 1 mm d'épaisseur, discontinues, horizontales, sinueuses, de plasma argileux brun, à organisation masépique, avec de petits argilanes, plus concentré et plus foncé au sommet de chaque bande. Ces traits pédologiques ne sont pas associés à un granoclassement du squelette.
- Des concentrations de plasma humifère gris, au sommet de certains grains grossiers du squelette.

Les bandes superficielles sont associées à une structure de type sédimentaire (sédirelique de BREWER, 1964) ; elles correspondent, ainsi que le squelette qui les encadre, à des dépôts successifs de sables et de produits fins par le ruissellement en nappe. Cette structure est rapidement effacée vers le bas, probablement par l'activité biologique.

Les bandes suivantes ne sont plus par contre liées à une stratification. Elles correspondent aux « banded fabric » décrites par les auteurs de langue anglaise (ST. ARNAUD *et al.*, 1964 ; DUMANSKY *et al.*, 1966). Elles répondent aux types A ou B que DUMANSKY *et al.*, ont observés, principalement dans les chernozems lessivés, mais s'en distinguent toutefois par l'absence de fissures à leur sommet. L'origine précise de ces organisations est controversée (BREWER *et al.*, 1969), mais elles sont constamment associées à des horizons lessivés, ont été reproduites en laboratoire, et sont à coup sûr liées au lessivage. Elles confèrent à l'horizon son aspect strié et sont responsables de sa couleur hétérogène.

Les dépôts gris recouvrant certains grains grossiers du squelette sont les coiffes décrites par BOCQUIER (1971) dans les horizons éluviaux. Elles sont caractéristiques des milieux lessivés très sableux et nous les observerons en abondance dans les toposéquences contrastées, étudiées plus loin.

La coexistence de ces trois types d'organisation n'est pas spécifique des solonetz de Haute-Volta. Elle a déjà été observée et étudiée au Tchad par BOCQUIER (1971).

En conclusion, nous retrouvons, à la base de l'horizon B prismatique, les mécanismes de formation du plasma argileux décrits précédemment ; les constituants de cette partie du profil sont autochtones. Toutefois, la réorganisation du plasma est rapide et si la filiation des organisations reste analogue à celle que nous avons vue jusqu'ici, il n'en reste pas moins que, sur une grande épaisseur (70 à 100 cm), l'organisation masépique du plasma et l'absence de reliques d'altération (biotites plus ou moins effilochées par exemple) ne nous permettent pas

d'exclure une origine allochtone de l'argile, dont nous verrons des exemples dans les chapitres suivants.

Dans la partie supérieure du profil le lessivage et l'illuviation interviennent activement et participent manifestement à la différenciation des horizons A sableux et B columnaire.

2. Les sols bruns subarides alcalisés

Les sols bruns alcalisés succèdent périodiquement aux solonetz au long de la pente mais ils sont particulièrement abondants sur le segment médian qui fait suite à l'inversion de la courbure du glacis (cf. Pl. V fig. 14) et sont absents tout à fait au sommet ainsi qu'à l'aval du glacis.

Ces sols diffèrent des solonetz par l'absence d'horizon superficiel sableux et d'horizon columnaire. Leur horizon supérieur est brun ou brun rouge, argilo-sableux, à structure cubique 2-4 cm en assemblage prismatique lâche ; il passe en profondeur à un horizon identique à la base de l'horizon columnaire des solonetz. La partie inférieure du profil est semblable dans les deux types de sols. Les sols bruns subarides alcalisés diffèrent morphologiquement des sols bruns subarides vertiques par la structure plus large et la dureté plus grande de leurs horizons B.

3. Le passage des solonetz aux sols bruns subarides alcalisés

L'étude du passage des solonetz aux sols bruns à l'aide de tranchées (cf. Pl. V fig. 15) montre que les seconds dérivent des premiers par troncature du profil jusqu'au sommet des colonnettes inclus et accentuation de la sous-structure cubique de ces dernières qui devient la seule structure exprimée. Les zones à sols bruns correspondent à des plages érodées, dépourvues de tapis graminéen, même en saison des pluies et sont partiellement couvertes, au contraire des zones à solonetz, par des concentrations de galets de quartz, non jointifs, associés à des nodules ferrugineux peu abondants.

Cette manifestation assez spectaculaire de l'érosion, qui provoque un décapage généralisé à micro-gradins est bien visible sur photographie aérienne où elle dessine des bandes blanches, festonnées et anastomosées, en forme d'écailles de poisson, caractéristiques des zones à solonetz de ces régions.

La reconstitution du processus se déduit aisément des observations de terrain (Pias, 1960, 1968 ; Hallsworth, 1964 ; Gavaud, 1966 ; Bocquier, 1968) : l'érosion entaille par une petite falaise l'horizon supérieur sableux des solonetz et rabote le sommet des colonnettes, dégageant en particulier les lits de galets de quartz qui affleurent et constituent une amorce de reg. Les microfalaises reculent par affouillement de leur base et chute de pans entiers de l'horizon (Pl. V photo 19). La mise à nu du corps des colonnettes entraîne par les alternances rapides d'humectation et de dessiccation en saison des pluies, l'individualisation de la structure cubique qui existait déjà à l'état latent. Les matériaux ainsi déblayés sont déposés quelques dizaines de mètres plus loin où ils reconstituent l'horizon sableux qui apparaît ainsi comme un horizon de transit (Bocquier, 1968). En coupe, cet horizon a la forme d'un biseau très fermé qui s'épaissit lentement vers l'aval. Les galets de quartz sont à nouveau enfouis ; les colonnettes se reforment lorsque l'épaisseur du recouvrement sableux atteint 5 à 10 cm. La structure columnaire est donc ici étroitement liée à la superposition d'un horizon sableux superficiel et d'un horizon plus argileux.

L'érosion qui détermine le passage d'un sol à l'autre apparaît également comme le facteur morphogénétique, actuellement très actif, de la formation de ce type de glacis subaride. Son effet est maximum immédiatement à l'aval de l'inflexion médiane de la surface topographique et correspond également à un amincissement net du sol (cf. Pl. V fig. 14). L'évolution actuelle du versant se traduit vraisemblablement par un recul de ce point d'inflexion, recul qui aura pour effet, lorsqu'il aura rejoint la ligne de crête, un abaissement de l'ensemble de l'interfluve. Ce mécanisme contribue donc à l'aplanissement qui caractérise le modelé de cette zone climatique.

On rappellera qu'à Soffokel la zone d'érosion maximum se situe également à l'aval d'un point d'inflexion topographique, moins net il est vrai qu'à Tassamakat. Bien que moins spectaculaire, parce que l'érosion y revêt une autre forme (érosion en nappe), le même mécanisme d'évolution des versants agit sur les sols bruns subarides vertiques.

4. Les sols de la plaine aval

Sur les cent derniers mètres du glacis, qui sont parfaitement horizontaux et constituent une étroite plaine bordant un lit à peine marqué, se produit une modification progressive des horizons supérieurs des solonetz. Cette transformation a été suivie à l'aide d'une tranchée continue.

1. L'horizon A s'enrichit progressivement en argile, perd sa striation, acquiert une couleur plus foncée (10YR 4/2) et une structure prismatique large (20-30 cm) à sous structure cubique (2-4 cm), devient très compact. En lame mince, ceci se traduit par un enrichissement en plasma qui devient homogène et uniformément réparti. L'assemblage est porphyrosquelique, le plasma squelvomasépique. La porosité est faible.

2. Le sommet de l'horizon B perd sa structure columnaire et acquiert une structure cubique (de même taille que ci-dessus). Sa teinte est également foncée (10YR 4,5/2). En lame mince, son organisation ne se distingue pas de celle du corps des colonnettes des solonetz, si ce n'est par la teinte plus foncée du plasma et la fréquence nettement moindre des argilanes qui sont plus minces.

La base du profil est analogue à celle des solonetz (individualisation du calcaire comprise), le pseudogley n'y est pas significativement plus marqué. Toutefois, dans deux profils sur cinq (T_{11} et T_{12}), on a observé la présence de lentilles de galets de quartz arrondis mêlés de gravillons ferrugineux. Ces lentilles témoignent de remaniements alluviaux et sont probablement la trace d'anciens chenaux qui fonctionnaient à une période où des écoulements importants se produisaient dans le thalweg (il n'y a plus d'écoulement actuellement, mais stagnation des eaux ruisselées).

L'enrichissement en argile de l'horizon A peut résulter de deux causes :

— Tri à l'échelle du versant des produits fins qui transitent avec l'horizon A. Ceux-ci restent en suspension dans l'eau de ruissellement tandis que les sables se déposent rapidement. Ils sont ensuite accumulés à l'aval où l'eau ralentit sa course.

— Accumulation à l'aval des produits fins entraînés par le lessivage dont on a vu des traces manifestes dans l'horizon A des solonetz.

De ces deux hypothèses, la première paraît la plus plausible principalement à cause de la progressivité de l'enrichissement en argile de l'horizon A. Nous verrons en effet ultérieurement que les accumulations obliques que suppose la seconde hypothèse s'accompagnent toujours d'un front d'accumulation linéaire, absent ici.

La disparition de la structure columnaire va de pair avec celle de l'horizon supérieur sableux, ce qui constitue le corollaire de la relation constatée précédemment entre horizon A sableux et B columnaire (cf. § 3).

La dénomination de ces sols est délicate. La base de leur profil est semblable à celle des solonetz, mais ils n'en présentent pas les horizons diagnostiques : A lessivé, B planique ou columnaire. Leur homogénéité texturale les rapproche des sols bruns ou des vertisols. Cependant, nous savons que l'enrichissement en argile de leur horizon superficiel est vraisemblablement dû à un apport superficiel, qui ne constitue pas un mécanisme proprement pédologique. De plus, ils diffèrent des sols bruns par une structure large en surface et des vertisols par des structures de gonflement et de retrait insuffisamment exprimées. Enfin, malgré leur drainage externe quasi nul, les manifestations de l'hydromorphie restent insuffisantes pour qu'on les classe dans les sols hydromorphes. Faute de pouvoir faire mieux, nous les rattacherons aux vertisols à structure vertique moyennement accentuée en gardant à l'esprit qu'il ne s'agit là que d'un pis-aller.

5. Le témoin de cuirasse démantelée amont

Cinquante mètres en aval de la ligne de crête et sur une surface d'environ 200 m de diamètre, on observe en profondeur une lentille gravillonnaire constituée de débris de cuirasse de taille variant de 1 à 50 cm, dans un emballage sablo-argileux. Surmontée par un matériau sablo-argileux peu différencié, lui-même coiffé d'un horizon A sableux identique à celui des sols environnants, cette lentille interrompt latéralement l'horizon columnaire et, partiellement, l'horizon B calcaire.

Dans le niveau gravillonnaire, on constate, de haut en bas la différenciation suivante (cf. fig. 16).

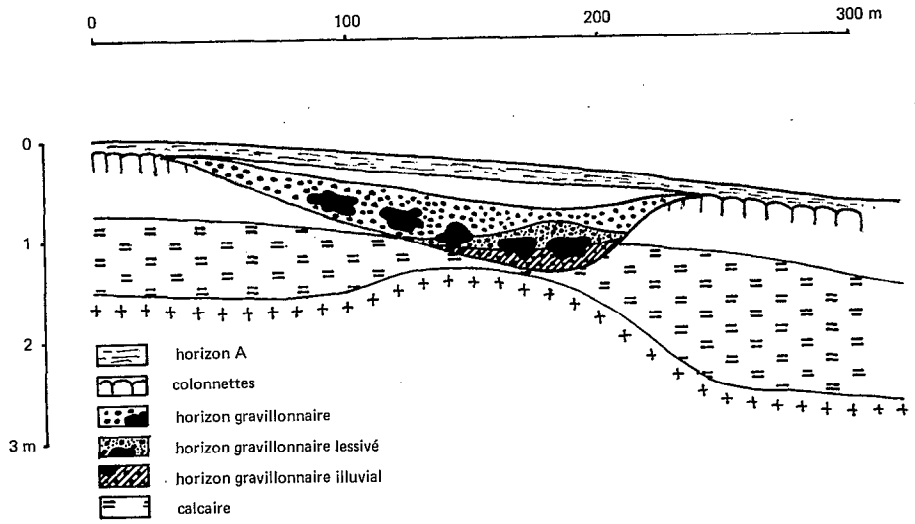


FIG. 16. — Coupe de l'îlot de cuirasse démantelée situé à l'amont de la séquence de Tassamakat.

— Au sommet, matériau gravillonnaire, à interstices comblés de sables argileux brun clair à taches rouges, polyédrique à grumeleux, assez poreux.

— Avec une transition linéaire, passage au même matériau gravillonnaire, mais pratiquement exempt d'emballage, excepté des dépôts de sables fins blancs qui coiffent le sommet des gravillons. L'ensemble est donc grossièrement et fortement poreux. Cette morphologie est celle d'un horizon lessivé A_2.

— Par une nouvelle transition linéaire, passage au même matériau gravillonnaire emballé dans une argile compacte organisée en films argileux brillants (légèrement humide), grise à taches ocres. Il s'agit d'un horizon illuvial Bt à limite supérieure planique.

Cet horizon illuvial gravillonnaire repose en discontinuité sur une argile arénacée vertique à nodules et amas calcaires. L'ensemble A_2-Bt profond a une épaisseur maximum vers le quart aval de la lentille ; il s'amincit de part et d'autre, le sommet du A_2 s'enfonçant aussi bien vers l'aval que vers l'amont. Un mince liséré à l'aval, une large bande à l'amont ne sont pas atteints par le lessivage profond (cf. fig. 16) ; le profil peut alors être classé comme sol ferrugineux à taches peu différencié sur matériau gravillonnaire. Ce profil est attaqué à partir du fond de la lentille gravillonnaire par un mécanisme de lessivage-illuviation qui nous deviendra familier lors de l'étude des toposéquences contrastées. C'est pourquoi nous ne nous attarderons pas sur son étude détaillée.

Quelques remarques sont utiles toutefois à l'interprétation de l'ensemble de la séquence :

(a) Par leur morphologie et leur dureté, les débris ferrugineux sont à rattacher à la cuirasse du moyen glacis (cf. 1ere partie p. 14) dont de rares lambeaux intacts persistent dans

la région. Ils résultent du démantèlement sur place de la cuirasse (LEPRUN, 1971-1973) suivi d'un nivellement par l'érosion.

(b) Le système A_2-Bt profond appartient exclusivement à l'îlot gravillonnaire et repose en discordance sur le matériau d'altération arénacé sous-jacent. De ce fait, il est peu vraisemblable, encore que non prouvé de façon certaine, que l'on puisse lui attribuer la partie supérieure de l'horizon B des solonetz et des sols bruns du versant.

(c) A l'aplomb de l'horizon Bt illuvial, le sommet de l'arène à structure conservée se rapproche de la surface topographique. Sans pouvoir interpréter avec certitude cette sinuosité, l'on peut dire que tout se passe comme si l'horizon illuvial avait freiné l'altération sous-jacente en constituant un écran imperméable, tandis que le sol continuait de s'approfondir de part et d'autre.

(d) Les nodules ferrugineux qui accompagnent les galets de quartz à la base des A des solonetz, à la surface des sols bruns subarides, et dans les lentilles de galets aval, ont une organisation morphologique analogue à celle des débris ferrugineux de l'amont. Ceci suggère que cet îlot résiduel de cuirasse démantelée a pu influencer l'ensemble du versant.

6. La répartition du calcaire

La morphologie et la puissance de l'horizon B calcaire est à peu près constante tout au long de la pente et ne permet de déceler aucun gradient latéral ni en particulier de migrations obliques. Cette uniformité est à rapprocher de celle de la roche mère. Ceci complète les observations effectuées à Soffokel et renforce la thèse de la lithodépendance appliquée à ce type de séquence.

CONCLUSIONS

La toposéquence de Tassamakat est plus complexe que celles que nous avons étudiées jusqu'ici. En effet, si la formation de la partie inférieure de l'horizon B est attribuable sans conteste à l'argilification in situ des minéraux primaires, les critères qui nous ont permis jusqu'ici d'établir la filiation entre les structures des horizons successifs sont absents sur une grande partie du profil. Bien que la séquence « minéraux primaires $\xrightarrow{\text{altéroplasmation}}$ plasma asépique $\xrightarrow{\text{pédoplasmation}}$ plasma masépique » reste la plus probable et ne soit contredite par aucune observation, on ne peut affirmer que, dans les 70 à 100 cm d'horizon B à plasma masépique, la totalité de la fraction argileuse est formée in situ. A ceci viennent s'ajouter des phénomènes de lessivage accentué dans l'horizon A, d'illuviation nette dans l'horizon B columnaire qui, au moins pour les premiers, établissent une certaine parenté avec les toposéquences contrastées que nous étudierons dans les prochaines pages. Plutôt que de conclure hâtivement quant à la genèse de ces sols, il semble préférable d'attendre de disposer de données supplémentaires, analytiques en particulier.

Les variations latérales, celles de l'aval comprises, sont essentiellement liées à l'érosion (et au colluvionnement). Mais celle-ci est guidée au départ par la différenciation pédologique à laquelle elle contribue d'ailleurs ensuite. La différenciation des horizons supérieurs apparaît en effet comme le facteur premier puisqu'en haut de pente, là où l'ablation est seule susceptible d'agir, les sols sont des solonetz à horizon A mince certes mais nettement lessivé. Ce lessivage prépare l'action de l'érosion, qui le relaie ensuite pour reconstituer plus à l'aval d'autres horizons A. Cette action conjuguée de la pédogenèse (principalement du lessivage) et de l'érosion, constitue un facteur de morphogenèse important, qui contribue à l'aplanissement du modelé, caractéristique de la zone aride.

Chapitre II

Toposéquences à différenciation latérale accentuée

Ce deuxième type de toposéquence est caractérisé, ainsi qu'on l'a précisé au début de la seconde partie, par l'importance des contrastes et la rapidité des transitions, verticales entre les horizons majeurs, latérales entre profils. Ces toposéquences n'apparaissent que vers le Sud de la Haute-Volta, pour des pluviosités supérieures à 800 mm et dans les régions dépourvues d'héritages pédologiques tels que les cuirasses et les altérites kaoliniques anciennes. ***Leur présence est par ailleurs strictement liée à certains caractères géomorphologiques ou géologiques du paysage.*** Elles sont en effet localisées soit autour d'inselbergs, soit sur des granites leucocrates à gros grain. Nous verrons ultérieurement que ces deux conditions, qui paraissent à première vue totalement étrangères l'une à l'autre, ont des conséquences pédologiques similaires. Dans la zone sahélienne septentrionale de la Haute-Volta, l'absence de tels granites, le fait que les rares inselbergs sont ennoyés par des formations dunaires, ne permettent pas de vérifier si la disparition vers le nord de ces toposéquences contrastées est liée à la variation climatique latitudinale ou à l'absence de ces facteurs qui les conditionnent. Cette seconde hypothèse est toutefois la plus plausible.

Deux toposéquences (ou groupes de toposéquences) seront successivement étudiées, qui répondent chacune à l'une des deux conditions précitées. La première est située au sud du village de Diébiga (11°8′ N-0°34′E) sur granite à grain grossier ; la seconde auréole l'inselberg de Garango (11°46′ N-0°35′ W). Bien que présentant des successions de sols comparables sinon identiques, ces séquences sont complémentaires, car leur degré de différenciation n'est pas le même. Ainsi les toposéquences de Diebiga, que l'on étudiera en premier, peuvent être considérées comme moins différenciées que celle de Garango II.

I. LES TOPOSÉQUENCES DE DIÉBIGA

A. ROCHE-MÈRE, MODELÉ, VÉGÉTATION

Le substrat de la région de Diébiga est constitué de granites intrusifs leucocrates à microcline, oligoclase (20 à 30 % d'anorthite) et biotite, à gros grain (5-10 mm), à peu près équant, fortement diaclasé. Ce granite est très homogène, mais il est traversé de filons d'amphibolites à grain fin, à orientation voisine de 100 gr, larges de quelques dizaines de mètres. Les axes de drainage, dans leur partie aval, suivent systématiquement ces filons, qui semblent de ce fait les avoir guidés. Ce n'est donc qu'à l'amont des bassins que l'on peut observer des toposéquences entièrement situées sur granite.

Le modelé est voisin de celui de Garango I : interfluves courts (8 à 900 m) à sommet arrondi, versants à pente de 2 à 3 %. Les thalwegs sont en V évasé à l'amont puis s'incisent rapidement vers l'aval, sous l'effet d'un creusement linéaire accentué probablement dû à des phénomènes tectoniques récents et dont les manifestations s'observent dans la morphologie de tout le SE de la Haute-Volta (bassin de la Pendjari et de la Volta). De ce fait, seules les toposéquences amont sont intactes sur toute leur étendue. Vers l'aval des bassins, les horizons sont, en bas de pente, recoupés par la surface topographique ; nous en verrons brièvement les effets.

La végétation est extrêmement dégradée et ne correspond pas à la formation climatique qui est la savane arborée dense. C'est une savane arbustive très clairsemée à *Combretum glutinosum* dominant, *Sterculia setigera, Tamarindus indica, Bauhinia thoningii ;* le tapis graminéen est à dominance d'*Andropogon gayanus* associé à *Loudetia togoensis,* il est régulièrement brûlé dès le mois de décembre. La strate arborée est un peu plus dense dans la partie aval encaissée des axes de drainage. Sur les étroits flats alluviaux se développent des formations à roseaux et Typha.

Les traces d'une très ancienne occupation humaine abondent et il n'est pas d'endroit où l'on n'observe, à la surface du sol ou dans l'horizon A, des tessons de poterie ; des outils taillés ont également été trouvés par LEPRUN (1972). Mais actuellement, l'implantation humaine est faible et seuls sont habituellement exploités les bas-fonds alluvio-colluviaux, les sols bruns eutrophes ou les vertisols développés sur amphibolites et sur les granites à grain fin qui font suite vers le Sud au massif de Diébiga.

B. VUE D'ENSEMBLE SUR LES SOLS ET LEUR ORGANISATION EN TOPOSÉQUENCES

L'étude pédologique détaillée de cette région fut abordée par l'examen d'une toposéquence située tout à fait à l'amont du petit bassin versant choisi. Cette première approche s'est révélée insuffisante pour caractériser de façon complète la dynamique des sols. Aussi a-t-on été amené à étudier deux autres séquences situées plus à l'aval, l'une liée génétiquement à la précédente dont elle constitue la suite logique, la seconde montrant le devenir de ces séquences sous l'influence de l'érosion (fig. 19).

Il semble par ailleurs difficile d'exposer avec une clarté suffisante l'organisation de ces toposéquences en abordant directement la description détaillée, nécessairement longue, des profils se succédant au long de la pente. Aussi a-t-il paru préférable d'en donner tout d'abord une vue d'ensemble, assortie d'une caractérisation rapide des profils, puis de reprendre de façon plus exhaustive l'étude macro- et micromorphologique des profils principaux. On suivra cette description pas à pas à l'aide des figures 17 à 19 en dépliant à la fin du volume.

1. La toposéquence amont A (fig. 17 et 19) *(voir dépliant h.t.)*

Tout à fait au sommet d'interfluve, se situe un sol ferrugineux présentant, sous un ensemble horizon A_1 humifère — horizon A_2 éluvial de 10 à 50 cm, ***un horizon B*** de 60 à 80 cm rouge, homogène. Cet horizon passe, par un horizon de transition d'une cinquantaine de cm, à une arène cohérente à structure conservée (horizon C). L'horizon de transition (BC) montre une variation progressive de couleur, du rouge vif au rose jaunâtre clair, et s'enrichit progressivement en îlots arénacés ; cependant, le passage à l'arène franche s'effectue brusquement, selon une surface ondulée qui délimite des cuvettes. Cette topographie du sommet de l'arène joue, ainsi qu'on le verra plus loin, un rôle important dans l'évolution ultérieure du sol. L'ensemble du profil est parcouru de canaux grossiers (⌀ 2-5 cm), vides, sinueux, sans orientation préférentielle. A la base du profil, au débouché de certains de ces canaux, on observe des poches sableuses, poreuses, blanchies (lessivées) qui comportent à leur base, plaqué sur l'arène, un mince niveau argileux, compact (illuvié). Ces poches, au développement très limité, préfigurent la différenciation — qui va se généraliser vers l'aval — de véritables horizons éluviaux et illuviaux.

Dès le haut de pente, à une dizaine de mètres du sommet, apparaît, ***à la base du profil,*** un horizon sableux continu, presque blanc, très poreux, constitué de sables grossiers lâchement agencés et saupoudrés de sables fins et limons blancs. Morphologiquement, il s'agit d'un ***horizon lessivé.*** Cet horizon se localise d'abord à la limite supérieure de l'arène, puis occupe, à partir de l'arène, une portion de plus en plus importante du profil à mesure que l'on descend la pente. L'horizon BC que l'on suivait depuis le sommet de l'interfluve disparaît ainsi rapidement, puis la base de l'horizon B rouge est à son tour remplacée par l'horizon lessivé dont la transition supérieure est linéaire et sinueuse. Dès qu'apparaît l'horizon lessivé profond, se développent, à sa partie inférieure, dans les cuvettes délimitées par le sommet de l'arène, des horizons plus argileux dont la partie supérieure ne déborde pas le sommet des cuvettes. Ces horizons, encore poreux à leur sommet, se colmatent rapidement vers la base et deviennent très compacts, riches en revêtements argileux ; ce sont des ***horizons illuviaux.*** A ce niveau de la toposéquence, les profils se présentent comme la succession verticale de deux couples d'horizons A et B. Ces couples sont appelés sequums par les auteurs américains et belges et l'ensemble du profil, un bisequum (Cann *et al.*, 1955 ; Deckers *et al.*, 1963 ; Daniels *et al.*, 1966-1967 ; McKeague *et al.*, 1966-1969 ; Nettleton *et al.*, 1968 ; Bocquier, 1971 ; Miller *et al.*, 1971...). La succession de ces horizons sera notée conventionnellement $A_1 - A_2 - B - A'_2 - B'_2 - C$.

Parallèlement au développement, à la base du profil, de l'horizon lessivé profond A'_2, apparaissent, dans l'horizon B supérieur, vers le tiers supérieur de pente, des zones décolorées puis des taches brunes et noires. Plus bas, vers le milieu de la pente, l'horizon B se carapace ***progressivement,*** la carapace étant formée d'un réseau induré brun à taches noires, englobant des zones beiges meubles. Mais vers l'aval, l'horizon lessivé profond continue de monter dans le profil et envahit la carapace ; les poches restées meubles perdent leur fraction fine, puis le réseau ferrugineux induré lui-même s'amaigrit. En bas de pente, l'horizon A'^2 a rejoint le A_2 superficiel et il ne reste plus que des îlots de carapace isolés dans le A'_2. Tout au long de cette séquence, les horizons B'_2 sont discontinus, asservis aux cuvettes basales et leur volume reste faible.

En résumé, il apparaît difficile de caractériser cette toposéquence par une suite de profils types, car on a pu constater que les variations latérales sont localement progressives et complexes. Tout au plus, peut-on sélectionner, de l'amont vers l'aval, les états de différenciation suivants :

— Sol ferrugineux sans taches ni concrétions ;
— Sol ferrugineux à taches et organisation biséquale ;
— Sol ferrugineux carapacé à organisation biséquale ;
— Sol lessivé à pseudogley.

2. La toposéquence aval B (fig. 18) *(voir dépliant h.t.)*

Dans la toposéquence précédente, l'extension de l'horizon lessivé A'_2 vers l'aval ne s'accompagne pas d'un accroissement des horizons illuviaux B'_2. On était donc amené à rechercher des zones d'accumulation latérale et pour cela, on a étudié une toposéquence aval susceptible de receler les produits entraînés de l'amont. Il ne fallait pas toutefois se placer trop à l'aval car, ainsi qu'on le verra dans le paragraphe suivant, le creusement linéaire de l'axe de drainage entraîne une oblitération des bas de chaîne, donc des zones d'accumulation éventuelles. C'est donc au confluent du thalweg, qui draine la toposéquence amont, avec l'émissaire principal que l'on a placé cette seconde toposéquence (fig. 19). Du fait que les profils situés dans ce thalweg sont lessivés à un degré au moins égal à celui de ssols qui les dominent, on peut admettre que cette seconde toposéquence constitue le bas de chaîne de la première.

La coupe de la figure 18 montre que nous avons affaire sur l'ensemble de la séquence à des sols lessivés planiques présentant certaines analogies avec les sols lessivés aval de la précédente séquence. Mais ici l'horizon B illuvial est continu et épais, son épaisseur tendant à augmenter vers l'aval en même temps d'ailleurs que celle de l'horizon lessivé. Des îlots de carapace, noyés dans le A'_2 persistent jusqu'en bas de pente.

Au milieu de la séquence apparaît, dans la partie inférieure de l'horizon lessivé un nouvel horizon B illuvial, séparé du précédent par la base de l'horizon A'_2. Le profil présente alors à nouveau deux séquences superposées d'horizon A-B, c'est un bisequum. Mais, sans en aborder l'interprétation génétique, la simple géométrie de ce nouvel horizon B nous montre que ce bisequum n'a pas du tout la même signification que celui de la première toposéquence.

Enfin, à l'aval de la toposéquence, un changement important de roche mère amène une modification morphologique brutale soulignée par la présence d'une pegmatite qui matérialise la limite géologique. On passe ainsi du granite leucocrate à grain grossier à une amphibolite à grain fin. Apparaît alors une argile d'altération vertique, dépourvue de films argileux macroscopiquement visibles, sur laquelle viennent buter les horizons B_2 amont.

Remarques sur la nomenclature des horizons

L'examen des horizons aussi bien dans leur disposition verticale que dans leur répartition latérale montre que, dans ce type de toposéquence, il n'est pas possible de comprendre la genèse d'un profil en dehors de son contexte amont et aval. Bien que nous n'en soyons pas encore au stade des interprétations, cette difficulté se répercute sur la nomenclature des horizons qui ne peut, elle non plus, être choisie en fonction d'une coupe verticale isolée. Aussi conviendrons-nous de numéroter les horizons à l'aide d'indices à mesure de leur apparition dans la séquence, de l'amont vers l'aval (fig. 20).

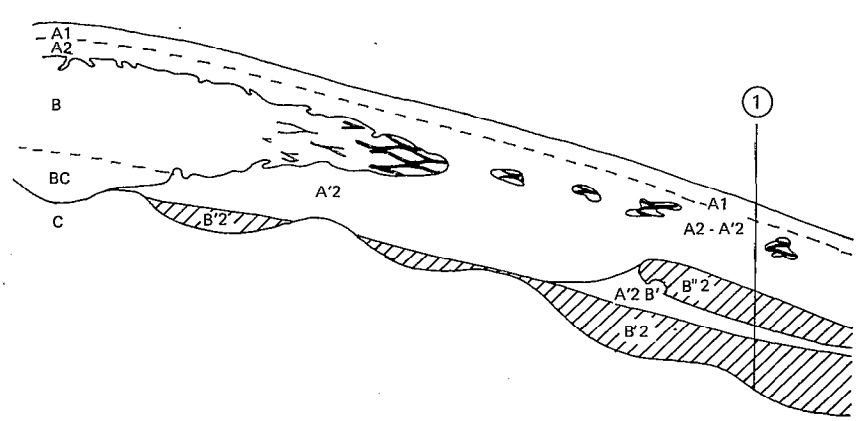


Fig. 20. — Coupe schématique et synthétique des toposéquences amont et aval. Nomenclature des horizons.

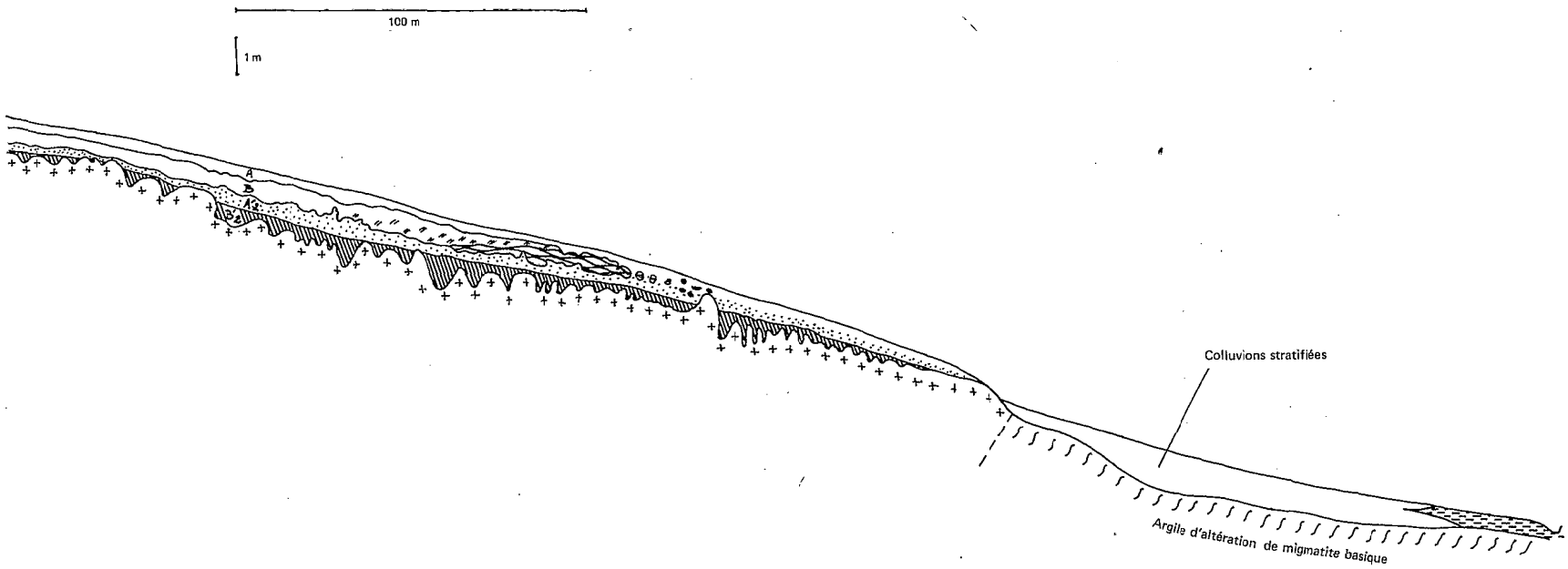


FIG. 21. — Coupe de la toposéquence C de Diébiga.

On aboutit ainsi dans la partie aval à un ordre différent de celui classiquement employé lorsque l'on considère des profils isolés (en 1 on eût écrit de haut en bas si l'on n'avait observé que ce profil : A_1, A_2, B, A'_2B', B'_2, ajoutant un ′ à chaque fois que l'on rencontre un nouveau sequum). Mais nous voyons que cela n'est plus possible lorsque l'on considère l'ensemble de la toposéquence, car il faudrait donner le même symbole (B) à l'horizon rouge de l'amont et à l'horizon B supérieur de l'aval. Nous verrons que la méthode classique de symbolisation des séquums successifs est encore plus inutilisable à Garango II où, en suivant un même horizon de l'amont vers l'aval, on serait obligé de l'appeler successivement B'_2, B''_2, B'''_2 à mesure que viendraient s'empiler de nouveaux horizons d'accumulation.

On conçoit aisément cependant que la méthode de symbolisation des sequums utilisée ici n'est pas généralisable aux études pédologiques de routine, car elle nécessite de connaître la coupe complète de chaque versant où l'on place un profil, et en particulier le nombre et l'extension latérale des horizons B.

3. Variations de ces toposéquences avec le creusement linéaire du réseau hydrographique

On a déjà souligné que les axes de drainage creusent vigoureusement leur lit dans cette région. L'érosion linéaire qui se manifeste ainsi est remontante et n'a pas encore atteint l'extrême amont du bassin où l'on a placé les deux toposéquences précédentes. Il s'avérait nécessaire de déterminer l'influence de ce creusement sur les sols.

Une troisième toposéquence a donc été observée après le confluent (toposéquence C fig. 19), là où l'enfoncement du réseau commence à se manifester par un talus d'érosion. La coupe de la fig. 21 montre clairement l'influence de cette érosion. On constate en effet que la toposéquence, identique à celle de l'amont jusqu'à 100 m du talus, est progressivement rabotée vers l'aval. L'horizon B carapacé disparaît le premier, puis l'horizon lessivé A'_2 et les horizons illuviaux B'_2. Le talus est entaillé directement dans l'arène. Lui font suite des sols plus ou moins hydromorphes développés sur colluvions stratifiés reposant sur une argile d'altération vertique d'amphibolite.

Il apparaît qu'ici, la concurrence entre l'érosion superficielle et l'évolution pédologique des versants est à l'avantage de la première. L'abaissement du niveau de base local, qui se manifeste par le creusement vigoureux des axes de drainage, entraîne la destruction des bas de chaîne par érosion régressive dans toute la partie aval du bassin.

C. ÉTUDE MORPHOLOGIQUE DES PROFILS CARACTÉRISTIQUES

On considère successivement les sols de l'amont vers l'aval en ne retenant que les profils représentatifs des divers états de différenciation (fig. 18 et 19).

Toposéquence amont A	Sol ferrugineux sans taches ni concrétions amont :	profil D1
	Sol ferrugineux à taches et organisation biséquale :	profil D4
	Sol ferrugineux carapacé et organisation biséquale :	profil D8
	Sol lessivé à pseudogley et reliques de carapace :	profil D10
Toposéquence aval B	Planosol	profil D11
	Planosol à organisation biséquale	» D12

1. Sol ferrugineux sans taches ni concrétions amont : profil D1

(a) ÉTUDE MACROMORPHOLOGIQUE

0-15 cm : ***Horizon A_1*** — gris beige (10YR 5/3) homogène — Sablo-graveleux. Structure massive à cohésion très faible — Porosité interstitielle assez grossière très développée.

15-40 cm : ***Horizon A_2*** — Contraste faible, transition rapide — Brun beige clair (10YR 5/3 à 7,5YR 5/4), homogène — Même texture — Structure massive à débit légèrement mamelonné, cohésion faible — Porosité interstitielle de même type — A la base de l'horizon, îlots de matériel identique à l'horizon sous-jacent.

40-120 cm : ***Horizon B.*** Contraste fort, transition linéaire, sinueuse ; pénétration de l'horizon A_2 dans le B par des indentations en doigt de gant — Rouge (2,5YR 5/5), homogène ; nombreux feldspaths blanchis ou jaunâtres très friables. Sablo-argilo-graveleux. Structure massive à débit peu mamelonné, cohésion moyenne à forte — Porosité par nombreux gros canaux tubulaires ∅ 0,5 à 5 cm non orientés — Pores fins peu abondants.

120-140/170 cm : ***Horizon BC*** contraste moyen, transition progressive — brun rouge clair (5YR 5/6) — Même texture et structure — Présence d'îlots arénacés à structure conservée dont la fréquence augmente vers la base — Mêmes canaux tubulaires — Au débouché de certains de ces canaux, présence d'îlots sableux, très poreux beige clair (10YR 7/4), à structure presque particulaire ; à leur base, reposant sur le sommet de l'arène sous-jacente, mince niveau compact, riche en films argileux, de teinte très claire (10YR 8/2).

—140/170 cm : (observé jusqu'à 3 m) ***Horizon C*** — Contraste moyen, transition linéaire sinueuse — Arène à structure conservée de plus en plus cohérente vers la base — Compact.

Enracinement : enracinement graminéen abondant jusqu'à 20 cm, présent jusqu'à 40 cm.

Cette description appelle les commentaires suivants :

L'éluviation superficielle, et en particulier le départ d'argile, est nette : texture très sableuse, porosité élevée des horizons A_1 et A_2. Le sens de progression de l'horizon lessivé (de haut en bas) est trahi par la présence d'îlots résiduels de l'horizon B isolés dans l'horizon A_2, ou parfois, encore reliés au sommet du B par un pédoncule. La base du A_2 correspond donc à un front d'attaque de l'horizon B sous-jacent. Pourtant, on n'observe pas d'illuviation correspondant à ce lessivage au sommet du B et l'on est amené à admettre soit que la fraction fine est détruite, soit qu'elle est entraînée plus loin, latéralement ou en profondeur, par l'intermédiaire des canaux grossiers. La destruction superficielle de cet horizon B peut être rapprochée de celle observée dans certaines podzols tempérés (prépodzols d'AMERIX, 1960) ou tropicaux (KLINGE, 1965 ; BLANCANEAUX, 1972). Bien que progressant de façon analogue, par une sorte de digestion qui laisse derrière elle des reliques bien identifiables, elle doit être distinguée de la dégradation des horizons B des sols lessivés tempérés sur limon (JAMAGNE, 1967-1973 ; FEDOROFF, 1968), qui est secondaire à une hydromorphie accentuée. Dans le cas présent, le drainage de l'ensemble du profil est bon et aucune trace d'hydromorphie ne s'y décèle. Les îlots résiduels de B isolés dans le A_2 s'indurent progressivement par dessiccation vers le sommet de l'horizon, prennent l'aspect de nodules ferrugineux et constituent des pédoreliques autochtones (BREWER, 1964). Il s'agit là d'un type de nodulation que l'on observe également dans certains sols ferrugineux développés sur les altérites anciennes ou les matériaux sédimentaires qui en dérivent (Continental terminal).

— ***L'organisation de l'horizon B*** reflète celle du matériau arénacé par la disposition des grains du squelette (même densité et répartition des quartz). Sa rubéfaction et sa structure, associées à l'éluviation superficielle permettent de classer ce sol, de façon il est vrai, peu satisfaisante, parmi les sols ferrugineux lessivés.

— ***L'origine des canaux grossiers*** reste énigmatique. Trois hypothèses peuvent être avancées :

- Traces d'activité de la faune (Termites)
- Traces d'anciennes racines d'arbres
- Différenciation pédologique.

Les deux premières hypothèses supposent que l'activité biologique responsable de la formation de cette porosité grossière est inactuelle, car ces canaux sont tous vides, les termites rares, les arbres très clairsemés. Les implications paléoclimatiques de ces deux hypothèses sont de ce fait importantes, car elles amènent à admettre que cette porosité s'est formée lors d'une période où le pédoclimat était plus favorable à la faune ou à la flore, donc le climat

plus humide ou la pluviosité mieux répartie. On pourrait supposer que la péjoration du pédoclimat est consécutive au lessivage qui va se généraliser vers l'aval. Ceci est peu probable car il apparaît que ce lessivage est secondaire à l'existence des canaux grossiers (cf. îlots lessivés).

La troisième hypothèse n'est guère plausible car il faudrait admettre, non seulement l'entraînement de la fraction fine mais aussi celle des sables grossiers et graviers dont on ne retrouve pas trace.

— ***Les îlots lessivés*** de la base du profil peuvent être considérés comme l'amorce d'un lessivage profond qui va se généraliser un peu plus à l'aval. Il est important de souligner que ces zones lessivées sont toujours associées à des dépôts illuviaux, qui tapissent leur base. Leur présence n'a pas été signalée dans les autres types de sols d'Afrique de l'Ouest, mais il est possible qu'ils soient relativement fréquents et passent inaperçus parce que moins nettement différenciés que dans le cas présent. Ils existent en particulier dans certains sols ferrugineux lessivés sur matériau d'altération kaolinique ancien de Haute-Volta. Les auteurs américains ont également étudié de tels îlots lessivés (eluvial bodies) dans les horizons B d'ultisols (DANIELS *et al.*, 1968, 1970).

(b) ÉTUDE MICROMORPHOLOGIQUE

Roche mère : Le granite sain (quartz, microcline, orthose, oligoclase, biotite, quelques cristaux de sphène) est parcouru par d'étroites fentes planes (10 à 100 μ) ***vides,*** traversant indifféremment tous les minéraux, quartz compris. Il s'agit plus vraisemblablement de fractures à relier au fort diaclasage de la roche dure, que de traces de dissolution.

150 cm : Arène à cristaux jointifs, structure de la roche conservée.

Squelette : quartz non fracturé en dehors des canalicules cités, orthose et microcline sains, plagioclase altéré (fines paillettes de séricité et particules argileuses), biotite altérée (expurgation du fer, pléochroïsme atténué).

Plasma : A 3 m de profondeur cette arène est parcourue du même réseau de fentes, que la roche saine. (Pl. VIII photo 25). Mais ici, ces fentes sont bordées ou comblées de cutanes à bordure irrégulière, en petits segments orientés juxtaposés, constitués d'argile jaune mêlée de fins fragments de biotite fortement ferruginisée. Ces argilanes sont particulièrement développés au débouché des cristaux de biotite qui les alimentent en débris ferruginisés et probablement en argile d'altération (Pl. VIII photo 26).

Certaines biotites très altérées se transforment sur place en plasma asépique (Pl. VII photo 24). A ce niveau de l'arène, ce sont les seuls minéraux qui se comportent ainsi, les autres minéraux, même altérés (plagioclase), conservent leur structure cristalline d'ensemble et ne libèrent ni produits d'altération ni fragments.

Plus haut dans la coupe, au sommet de l'arène (1,6 m), certaines fentes s'élargissent (0,1-1,5 mm), la bordure des cristaux qui les délimitent étant irrégulière, fissurée. Ces vides plus larges sont partiellement comblés d'un fond matriciel à squelette fin à quartz, feldspath, biotite, pauvre en plasma argileux qui forme de minces cutanes interstratifiés avec le squelette. Ce dépôt est posé soit sur la paroi inférieure du canal (Pl. VII photo 27) soit empilé dans l'orifice qu'il obstrue plus ou moins complètement. Les autres canalicules restent fins, à peine plus larges que ceux précédemment décrits, mais leurs argilanes sont mieux orientés.

150-120 cm : Horizon BC — La structure de la roche mère est encore conservée en grand, les fragments appartenant à un même cristal s'éteignent simultanément, bien que pouvant être séparés par des chenaux de plus de 1 mm.

Squelette et altéroplasma :
— Le quartz est souvent très fracturé. Sur ses bordures en contact avec les vides, il perd de petits fragments qui sont mêlés au fond matriciel adjacent.
— Microcline et orthose sont optiquement sains, mais progressivement remplacés par un fond matriciel à plasma jaunâtre, à extinction ponctuée (altéroplasma asépique), à squelette fin uniquement constitué de fragments non déplacés du cristal attaqué (Pl. VII photos 30 et 31).
— Le plagioclase est très altéré, rarement à macle visible. Il passe progressivement à un fond matriciel avec ou sans petits résidus cristallins primaires identifiables. Ceux-ci sont très carriés. Le fond matriciel a également une extinction ponctuée (asépique), il est constitué de squelette fin (petits débris de plagioclases), de séricite, d'amas de cristallites

argileuses sans orientation préférentielle. Localement, il se charge de fer d'une manière diffuse.
— La biotite est généralement complètement exfoliée, elle donne un fond matriciel asépique riche en fines lamelles très altérées, conservant cependant un léger pléochroïsme, ou bien fortement ferruginisées (Pl. VII photo 30).

Fond matriciel « pédoturbé » (Pl. VII photos 28 et 29).

En dehors de ces zones à altéroplasma asépique associé à un squelette monominéral dans chaque fantôme de cristal primaire, se développe un réseau de vides larges (1-2 mm) contenant un fond matriciel et des argilanes. Le squelette du fond matriciel est hétérogène (quartz, feldspath, biotite, séricite), probablement alimenté par les cristaux à bordure fragmentée adjacents. Ce fond matriciel présente des domaines faiblement orientés, il est légèrement squelsépique, sa teinte est jaune pâle. Les argilanes sont bien orientés, jaune rougeâtre ; ils bordent la paroi des pores. D'autres vides, plus fins (1/4 mm), ne contiennent que des argilanes.

120-40 cm : Horizon B rouge — La conservation du volume est à peu près assurée grâce à la permanence d'une charpente de minéraux de grande taille.

On peut en effet trouver des itinéraires continus allant d'une extrémité à l'autre de la lame en passant d'un cristal du squelette grossier à un autre soit par une limite de cristaux jointifs, soit en franchissant une plage de fond matriciel, mais en retrouvant de part et d'autre de ce domaine des fragments ayant appartenu à un même cristal primaire et qui conservent la même orientation cristallographique.

Par rapport à l'horizon BC, le fond matriciel a notablement augmenté, principalement en fond matriciel « pédoturbé ». Les plagioclases ont disparu, intégralement transformés en plasma. Les argilanes sont plus ferruginisés (rouge-jaune), passant parfois à des argilo-ferranes (rouge), rarement à des ferranes (brun rouge presque opaque). La teinte du plasma du fond matriciel est rouge clair. Le fond matriciel pédoturbé occupe des zones plus larges (Pl. VII photo 31), il intègre des papules d'argile orientée, sa tendance squelsépique s'accentue un peu. Le fond matriciel d'altération reste abondant. L'assemblage est porphyrosquelique.

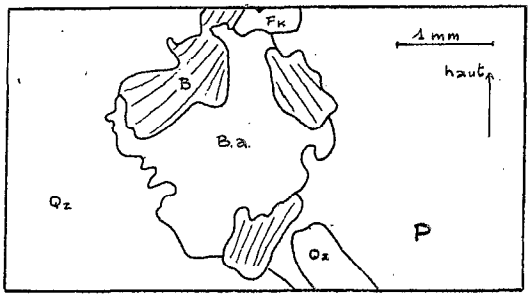
40-15 cm : Horizon A_2 beige — Assemblage intertextique (les grains grossiers du squelette sont reliés entre eux par des ponts associant plasma et squelette fin). Le plasma est très peu abondant, asépique ou insépique. Il n'y a pas d'argilanes. L'examen de la limite A_2-B ou bien celle des îlots de B noyés dans le A_2 montre que les structures plasmiques ou cutaniques du B sont recoupées par le fond matriciel du A_2 qui contient souvent de petits débris d'argilo-ferranes au voisinage du contact avec l'horizon B.

15-0 cm : Organisation analogue à celle du A_2 — Présence de débris organiques

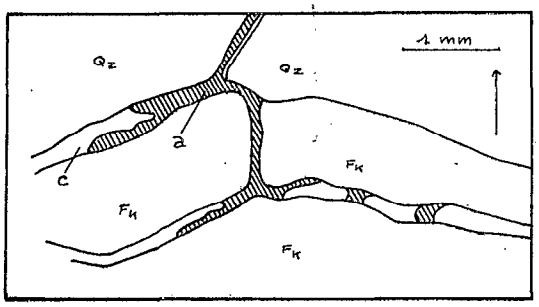
INTERPRÉTATION

Dans ce profil, on observe deux modes de différenciation du fond matriciel. D'une part, formation d'un altéro-plasma analogue à celui du sol brun eutrophe de Garango I (cf. p. 49). L'ordre d'altérabilité des minéraux primaires reste le même, mais les plagioclases disparaissent plus précocement (cf. fig. 22 p. 88). D'autre part, à partir des produits d'altération des biotites, et, plus haut dans le profil, à partir de l'altéroplasma lui-même, formation d'un fond matriciel pédoturbé, c'est-à-dire remanié sur place ou sur une faible distance par les mécanismes pédologiques : mouvements mécaniques internes liés à l'humectation ou à la circulation de l'eau et, dans la zone à activité biologique, influence de la faune et des racines.

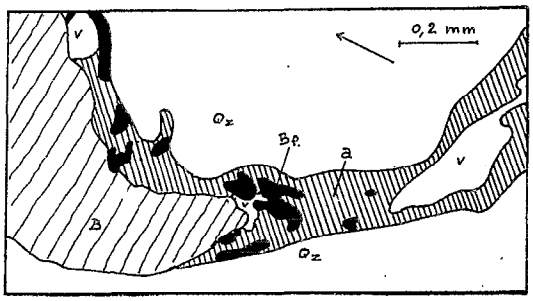
De façon plus explicite, on constate qu'à la base de la coupe, dans l'horizon C, seule la biotite altérée libère une partie de sa substance : argile d'altération et débris de lamelles ferruginisées. Le plasma est uniquement constitué de fins argilanes médiocrement orientés, il est associé à des fragments de biotite (Pl. VII photos 25 et 26). Plus haut, les cristaux de quartz et de feldspath commencent à se démanteler sur leur bordure. On trouve alors quelques zones de fond matriciel à squelette fin hétérogène mais pauvre en plasma car les biotites sont toujours les seuls minéraux à fournir de l'argile (Pl. VII photo 27). Dans l'horizon BC se développe brusquement un plasma d'altération à partir des feldspaths. Dans ce plasma d'altération, les pores sont revêtus d'argilanes, tandis que les fissures qui parcourent les minéraux primaires voisins en sont pratiquement dépourvues ; ce fait suggère que les argilanes sont issus



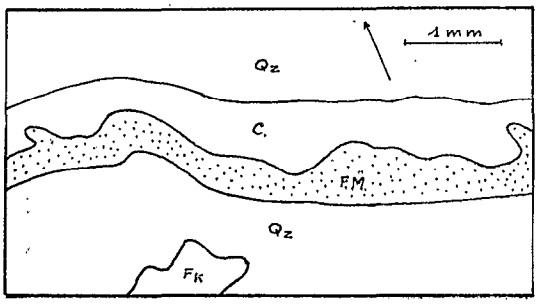
24. — B : biotite – Ba : biotite altérée – P : plagioclase.



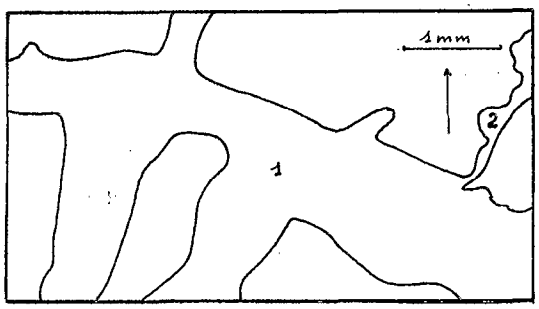
25. — C : canalicule – A : argilane – F_K : feldspath potassique.



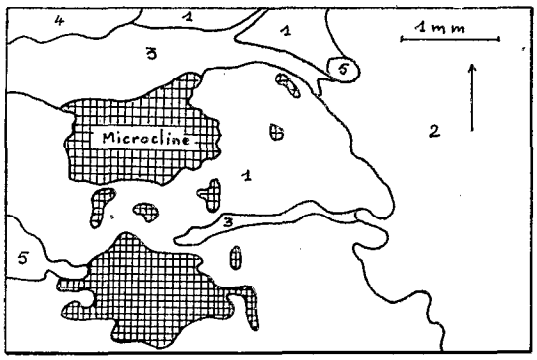
26. — B : biotite – Bf : biotite ferruginisée – A : argilane – V : vide.



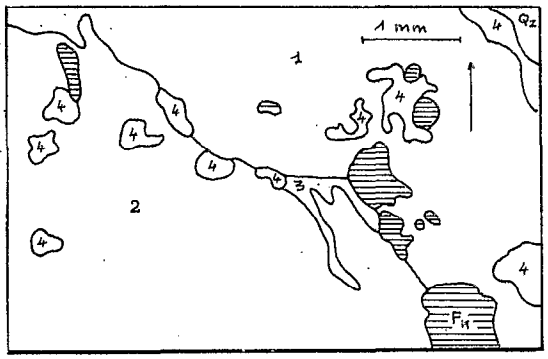
27. — C : canalicule – FM : fond matriciel à squelette fin (quartz, feldspath, biotite en fines lamelles).



28-29. — 1 : canaux grossiers – 2 : canaux fins.

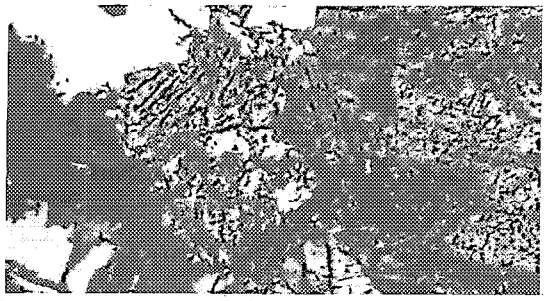


30. — 1 : fond matriciel d'altération de microcline – 2 : fond matriciel d'altération de biotite – 3 : canalicule à argilanes – 4 : fond matriciel « pédoturbé » – 5 : vide.

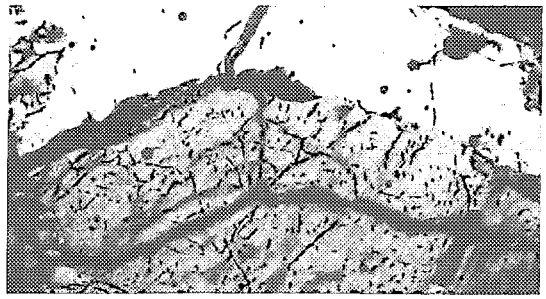


31. — 1 : fond matriciel d'altération de feldspath – 2 : fond matriciel « pédoturbé » – 3 : canalicule à argilanes – 4 : vide.

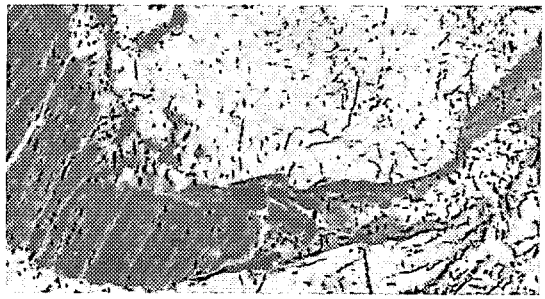
SOL ROUGE AMONT DE DIEBIGA



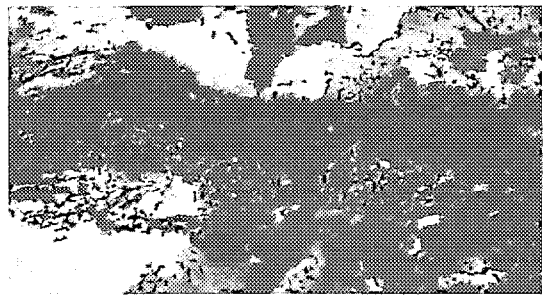
24. L.P. — Horizon C (arène), 3 m. Biotite altérée donnant un plasma argileux asépique.



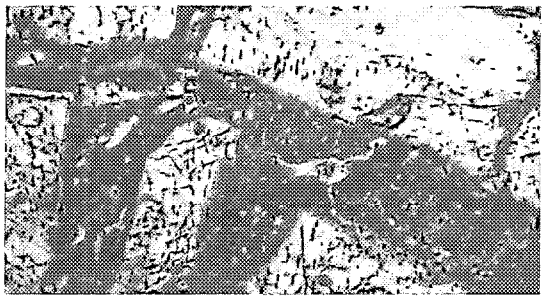
25. L.P. — Horizon C (arène), 3 m. Canalicules à argilanes.



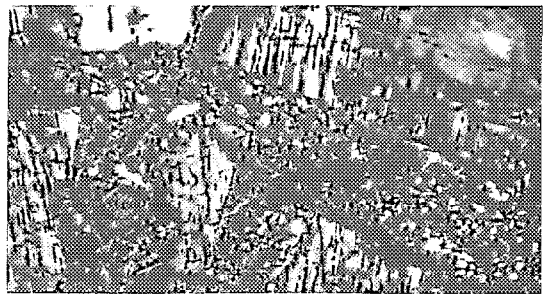
26. L.N. — Horizon C (arène), 3 m. Canalicule alimenté en fragments ferrugineux et en argile par une biotite en cours d'altération.



27. L.P. — Horizon C (arène), 160 cm. A la partie supérieure de l'arène, les canalicules s'élargissent et leur remplissage comporte du squelette fin et un peu d'argile en fins cutanes.

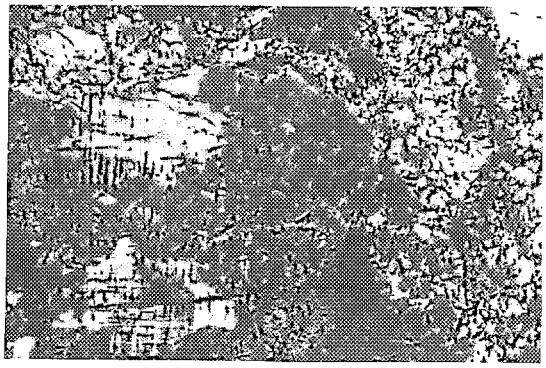


28. L.N.

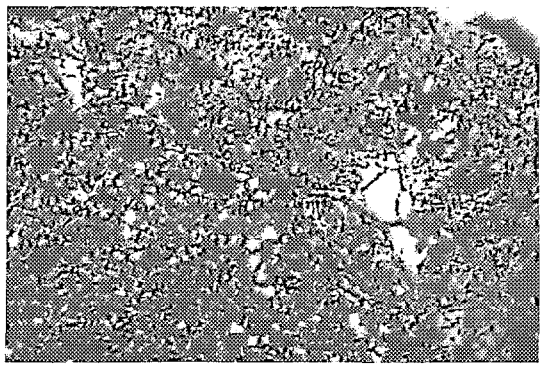


29. L.P.

Horizon BC, 120 cm. Les canaux grossiers contiennent un fond matriciel comportant du squelette fin de composition hétérogène, du plasma argileux asépique et des argilanes.



30. L.P. — Horizon B, 80 cm. Fond matriciel d'altération formé sur place à partir de feldspath et de biotite. Il ne contient pas de squelette autre que des fragments du cristal d'origine et ceux-ci gardent la même orientation.



31. L.P. — Horizon B, 80 cm. Fond matriciel à plasma asépique d'altération de feldspath et fond matriciel « pédoturbé » à plasma à tendance masépique.

directement des parois des pores. Le fond matriciel à altéroplasma, facilement mobilisable, alimente à son tour les argilanes et le fond matriciel pétodurbé, qui devient abondant et plus riche en fraction fine. Ce mécanisme s'accentue vers le sommet du profil en même temps que l'activité biologique dont les traces, bien que peu visibles en lame mince, sont nettes sur le terrain. Ce n'est que dans l'horizon A_2 superficiel que l'on constate une perte importante de substance. En conséquence, ***dans l'ensemble du profil, horizons A exclus, à chaque niveau considéré, le fond matriciel et ou les traits pédologiques ne comportent que ce que le milieu d'altération chimique ou mécanique immédiatement environnant est susceptible de leur fournir.*** L'ensemble de ces observations nous amène à conclure à une origine très locale de l'argile illuviée qui forme les argilanes des horizons B et BC et, plus généralement, à l'autochtonie ou de la para-autochtonie du fond matriciel.

Il en est par contre tout autrement du couple A_1-A_2 superficiel. Les organisations microstructurales, dont on a suivi la formation ou la transformation progressive de l'arène jusqu'au B, disparaissent brusquement, recoupées par un fond matriciel presque inorganisé, pauvre en plasma, très poreux et qui contient, à proximité de ces contacts discordants, des débris issus des argilo-ferranes du B. On a là les manifestations évidentes d'une destruction du B par le haut et d'un entraînement des produits de cette attaque, qui confirment les conclusions de l'étude macroscopique. Par contre, on n'a observé aucune structure illuviale, située sous et à proximité de la base du A_2, qui puisse être attribuée à l'accumulation des produits fins ainsi entraînés. Il n'y a pas d'illuviation secondaire (JAMAGNE *et al.*, 1967 ; FEDOROFF, 1968) qui vienne se superposer aux structures du B. Il est probable qu'une telle attaque résulte d'une circulation oblique relativement rapide de l'eau de percolation, partiellement bloquée dans son cheminement vertical par le contact A_2 (très poreux) — B (plus compact), et que les produits fins arrachés sont entraînés latéralement, puis en profondeur, par l'intermédiaire des canaux grossiers qui traversent tout le profil. Il apparaît ainsi que l'horizon A_2 n'alimente pas l'horizon B sous-jacent en argile, mais bien au contraire qu'il se développe à ses dépens. Il s'agit là d'un processus de destruction superficielle d'un sol qui peut continuer de se développer vers le bas.

Les mécanismes de formation de l'horizon B sont finalement assez voisins de ceux décrits pour le sol brun eutrophe de Garango I. Les organisations micromorphologiques présentent des analogies. Les altéroplasmas en particulier ont des aspects microscopiques semblables. Cependant, on constate que la réorganisation du plasma d'altération n'est pas sous la dépendance des mêmes facteurs dans les deux cas. A Garango I, il s'agissait essentiellement des contraintes internes liées au gonflement et au retrait. A Diébiga, ces contraintes semblent faibles (structure massive du B, orientation du plasma quasi nulle) et ce sont l'activité biologique et les effets mécaniques de l'eau, autres que ceux résultant d'un fort pouvoir de gonflement du plasma argileux (pressions liées aux forces capillaires, dispersion...) qui constituent les principaux agents de pédoplasmation. De plus, pédoturbation et migration d'argile interviennent beaucoup plus tôt et plus intensément dans le sol rouge de Diébiga que dans le sol brun eutrophe de Garango I (cf. fig. 12 p. 52 et 22 p. 87). Ces mécanismes sont probablement favorisés à Diébiga par des minéraux secondaires plus mobiles, une perméabilité plus forte, une pénétration plus aisée et plus profonde de l'activité biologique. Par son taux élevé d'argilanes (15 %), l'horizon B de ce sol doit être rangé, selon les normes classiques (7th Approximation, 1960), parmi les horizons illuviaux (ou argiliques). Par ailleurs, la forte coloration des argilanes (argilo-ferranes) montre que le fer migre associé à l'argile (BREWER, 1972).

2. Sol ferrugineux à taches et organisation biséquale : profil D4

(a) ÉTUDE MACROMORPHOLOGIQUE (Pl. VIII photo 32)

0-10 cm / 10-20 : Horizon A — Gris foncé (10YR 4/2) — Homogène — Sablo-graveleux. Structure massive à cohésion très faible — Porosité interstitielle grossière très développée. La base de cet horizon, là où il est épais, s'éclaircit et acquiert une morphologie de A_2 — Présence d'îlots résiduels de B.

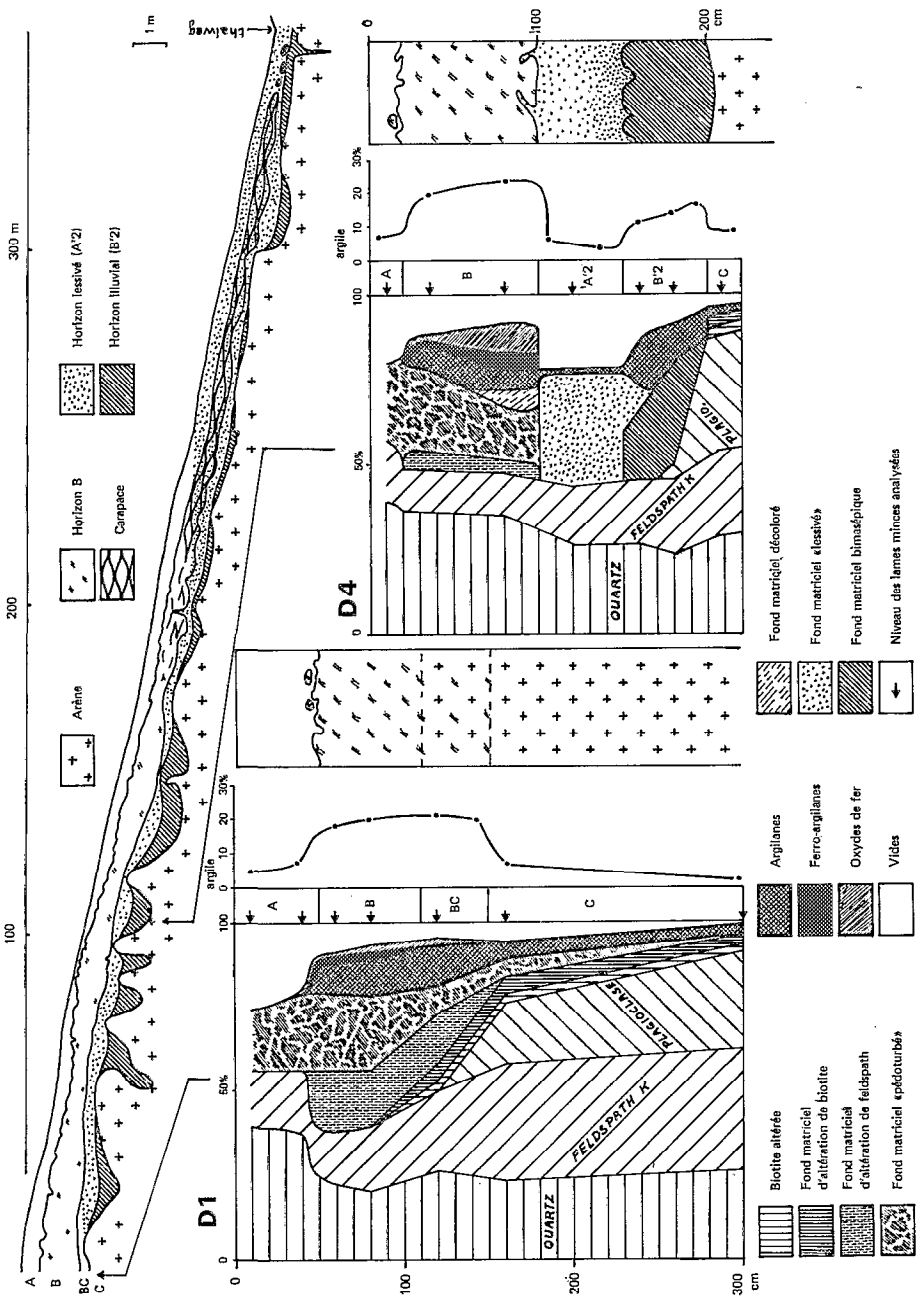
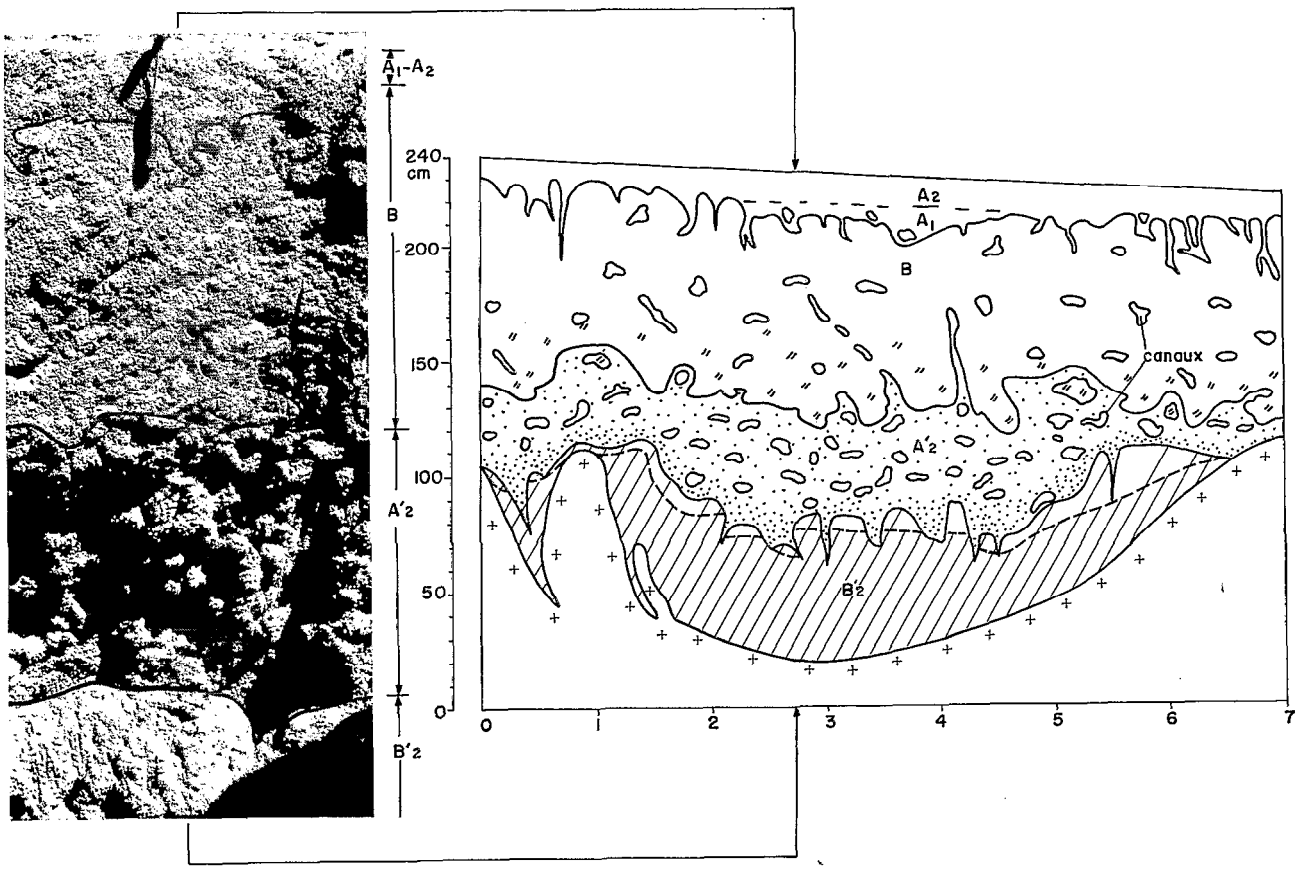


Fig. 22. — Profil D1.

Fig. 23. — Profil D4.



32. — Profil D4.

à droite :

FIG. 24. — Coupe d'une « cuvette », au niveau du profil D4.

10|-|20 | 85 cm |100 : Horizon B — Contraste fort, transition linéaire sinueuse. Rouge vif (2,5YR 4/6), légèrement hétérogène au sommet sur 35 cm : zones moins rouges et plus claires (5YR 4/6) autour de certains pores. Ces zones deviennent plus nombreuses et plus décolorées (10YR 7/5) à la base de l'horizon en même temps que se différencient des taches rouge brun (2,5YR 4/4) peu contrastées. Nombreux feldspaths friables — Sablo-argilo-graveleux. Structure massive à débit peu mamelonné, cohésion moyenne à forte. Même porosité grossière par canaux qu'en D_1.

85|-140 cm 100| : Horizon A'² — Contraste fort, transition linéaire sinueuse. Beige clair (10YR 7/4). Sablo-graveleux. Cet horizon est constitué de sables grossiers et graviers très lâchement agencés, fragilement reliés entre eux par des joints de matériel plus fin. Tous les grains grossiers du squelette, ainsi que les replats structuraux sont coiffés d'une pellicule de sables fins et limons blancs ; le fond des pores et des canaux est également tapissé de ces particules fines. La partie inférieure des sables grossiers et graviers est propre et constitue le toit de cavités aplaties à fond recouvert de particules fines. Les feldspaths friables ont disparu, tous les grains de sables et graviers (quartz et feldspaths) sont très résistants. La structure est subparticulaire, sa fragilité croît vers la base de l'horizon qui tend à s'effondrer au contact de l'horizon sous-jacent. On observe les mêmes canaux grossiers que dans l'horizon B sus-jacent. A proximité de la limite supérieure de l'horizon, présence d'îlots résiduels de B rouge à taches beige et rouge brun.

140-200 cm : Horizon B'_2g — Contraste de couleur faible, transition linéaire sinueuse dessinant des colonnes ou des prismes à sommet plat, irréguliers — Teinte d'ensemble beige très clair (10YR 8/2) à taches reticulées ocres (10YR 7/6), riche en argilanes associés aux films sableux blanc au sommet de l'horizon. Sablo-argilo-graveleux — Structure prismatique grossière et très irrégulière délimitée par des fentes en coin plus ou moins comblées de sables grossiers. Prismes massifs à débit régulier, cohésion forte — Porosité encore forte au sommet, diminuant rapidement vers la base de l'horizon qui est très compact. Très nombreux films argileux, luisants et bien visibles en humide.

200 cm : Horizon C — Contraste moyen, transition linéaire — Arène à structure conservée — Infiltrations argileuses grises dans les diaclases.

Enracinement : très abondant dans le premier horizon, rare au sommet du B où il disparaît vers 40 cm.

Remarques :

Sequum supérieur

Les horizons A_1-A_2 sont nettement plus minces qu'en D1 par suite d'une érosion superficielle active qui se manifeste par le déchaussement des touffes d'Andropogon et même la mise à nu locale du B qui s'indure alors légèrement.

Dans l'horizon B, apparition de légères manifestations d'hydromorphie : autour des pores, zones décolorées à peine marquées au sommet (où au contraire la masse de l'horizon est à la fois plus rouge et plus sombre), plus nettes à la base, où elles sont associées à des individualisations ferrugineuses discrètes par taches.

Sequum inférieur

A ce niveau du versant (1/3 supérieur de pente), l'horizon lessivé profond A'_2 est déjà bien développé et a remplacé dans sa totalité l'horizon BC de l'amont. Son développement aux dépens de l'horizon sus-jacent est évident à la fois par sa géométrie dans l'ensemble de la séquence (cf. I B) et par sa limite supérieure indentée, qui pénètre vers le haut à la faveur de la porosité biologique grossière et isole, comme le A_2 supérieur, des îlots résiduels de B. On constate que cette transformation correspond au départ de la fraction fine argilo-ferrugineuse (lessivage), tandis que le squelette se maintient et se réorganise : le squelette fin acquiert une structure de dépôt (pellicules sur les grains grossiers, le plancher des pores...). Cette organisation correspond aux « traits laminaires » décrits par Bocquier au Tchad, mais elle reste ici peu différenciée et l'on n'observe pas les lamelles et raies décrites par cet auteur (Bocquier, 1971).

L'horizon illuvial B'_2 présente des manifestations d'hydromorphie accentuée (pseudogley). Il doit donc être représenté par le symbole B'_2g. Toutefois, dans la suite du texte on le désignera plus brièvement par le symbole non équivoque B'_2. Cet horizon est également

caractérisé par l'abondance des films argileux visibles à l'œil nu. A la partie supérieure, ces films sont associés aux dépôts de sables fins et limons blancs.

Lors du creusement des fosses (au milieu de la saison sèche), on a constaté un écoulement d'eau à forte turbidité au niveau du sommet de l'horizon B'_2, venant aussi bien de l'aval que de l'amont. Cet écoulement se tarit rapidement. Afin d'étudier ces petites nappes perchées, une tranchée de 7 m a été creusée selon la ligne de plus grande pente et l'on a ainsi isolé un système illuvial complet. La coupe de la tranchée (Pl. VIII fig. 24) montre la dépendance de l'horizon B'_2 vis-à-vis de la topographie en cuvettes successives du sommet de l'arène. De ces observations, l'on déduit que l'horizon B'_2 résulte de la décantation des produits en suspension dans les nappes perchées retenues par ces cuvettes, le trop plein pouvant se déverser dans les cuvettes suivantes car, au contraire de l'horizon B'_2, l'horizon A'_2 est continu, bien que d'épaisseur variable. Il s'agit là d'une véritable sédimentation interne au versant. La résultante de ces migrations particulaires est oblique. En effet, si la décantation dans les nappes est verticale, les particules en suspension peuvent être entraînées latéralement par le jeu des débordements successifs.

Ce type d'illuviation doit être distingué de celui qui s'effectue par percolation au sein d'un horizon bien drainé tel que l'horizon B supérieur. Il se caractérise en particulier par une hydromorphie qui se manifeste précisément dans ces cuvettes.

(b) Étude micromorphologique

Dans les profils précédemment envisagés, nous avons constaté que les principales séquences de différenciation sont orientées de bas en haut, ce qui nous a amenés à étudier les lames minces du matériau vers le sommet du profil de façon à pouvoir mettre en évidence les filiations entre constituants et organisations successifs. Il n'en est plus de même dans le profil D4. D'une part, l'horizon B supérieur est coupé de son matériau par le système A'_2-B'_2 profond et il ne peut être comparé qu'à son équivalent amont. D'autre part, nous avons déjà constaté la filiation suivante : $B \rightarrow A'_2 \rightarrow B'_2$, orientée de haut en bas. C'est donc du sommet vers la base du profil que les lames seront étudiées.

0-15 cm : L'assemblage est intertextique, localement granulaire. Le plasma, peu abondant, est de teinte beige, asépique ; il comporte des débris organiques noirâtres. Les vides sont très nombreux, leurs parois sont indifférenciées, ce sont des orthovides.

15-90 cm : Horizon B. ***L'assemblage*** est porphyrosquelique.
Le squelette est constitué de quartz et microcline. Le plagioclase est absent. On distingue un squelette grossier (0,5-3 mm) et un squelette fin (0,05-0,1 mm). Il existe trois sortes de ***fond matriciel*** (Pl. IX photo 33).

— Un fond matriciel dominant à plasma rouge légèrement squelsépique. Il comporte l'essentiel du plasma d'altération identifiable, par ailleurs peu abondant (5 %). Les pores sont bordés d'argilanes rouges.

— Autour de certains pores, un fond matriciel décoloré à plasma jaune très pâle de même organisation (faiblement squelsépique). Les argilanes bordant les pores sont jaune clair, jaune rouge ou mixtes (le plus souvent, jaune rouge autour de la lumière centrale, jaune pâle à la périphérie).

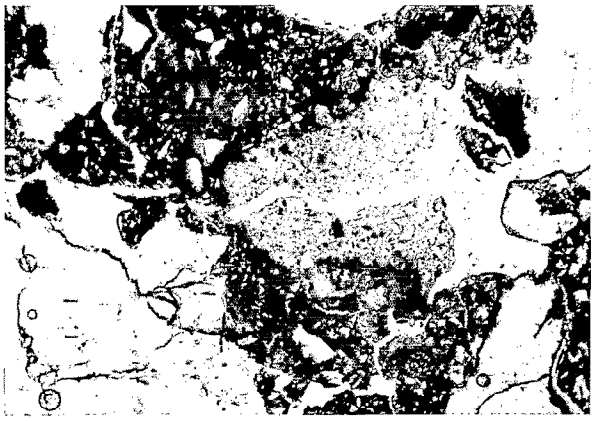
— Au sein du fond matriciel à plasma rouge, des domaines fortement ferruginisés brun rouge foncé à noirs, riches en ferranes.

Sauf cas particulier (remplissage biologique = isotubules) les proportions relatives de squelette fin, de plasma, de vides sont sensiblement les mêmes dans les trois types de fond matriciel.

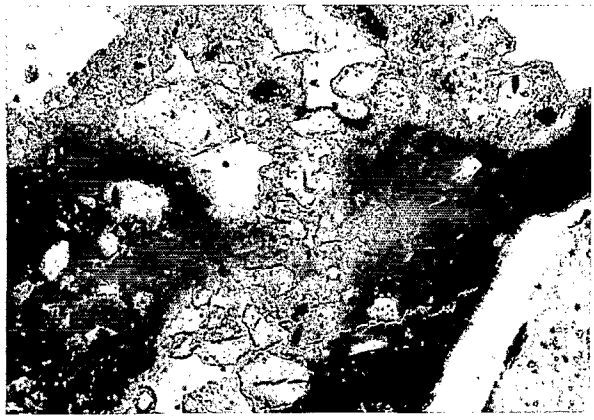
Le contact entre les domaines rouges et jaune pâle est rapide mais continu (Pl. IX photo 34). Il n'y a pas en particulier de discordance entre les organisations cutaniques ; un argilane passant d'un domaine à l'autre change seulement de teinte avec le plasma environnant.

Au contact entre les domaines rouges et jaune pâle, les argilanes sont zonés, la partie externe étant jaune, la partie interne rouge. La limite entre les zones de couleurs diffé-

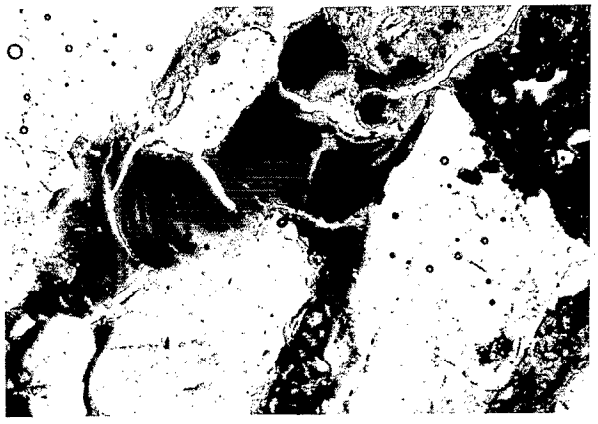
DIEBIGA : L'HORIZON B DU PROFIL D4 — AMORCE DE LA DIFFÉRENCIATION FERRUGINEUSE



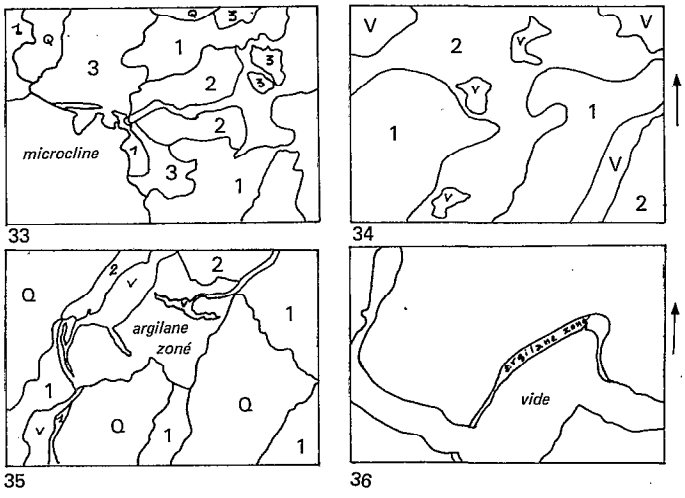
33. L.N. — Les 3 types de fond matriciel de l'horizon B du profil D4.



34. L.N. — Transition entre le fond matriciel à plasma rouge et le fond matriciel décoloré. Horizon B du profil D4.

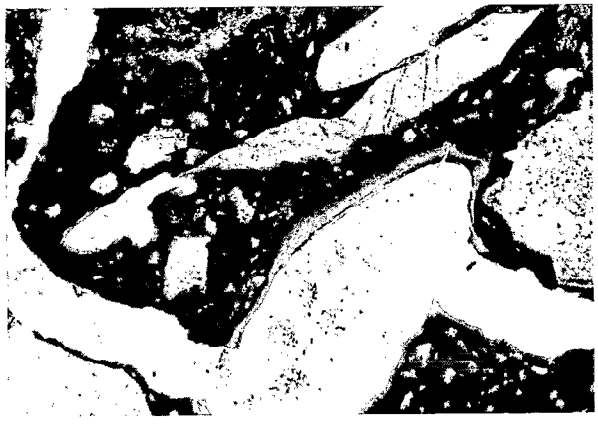


35. L.N. — Argilane zoné. Horizon B du profil D4.



Échelle : 33 — 0,5 mm
34 — 0,1 mm
35-36 — 0,5 mm

1 : fond matriciel à plasma rouge
2 : " " " décoloré
3 : " " " ferruginisé
V : vide
Q : quartz



36. L.N. — Argilane zoné. Horizon B du profil D4.

rentes ne suit pas généralement la stratification de l'argilane (Pl. IX photos 35-36), ce qui suggère une différenciation in situ. Les cas évidents de superposition de dépôts sont très rares.

Il n'en est pas de même des argilanes complexes, situés au sein des domaines décolorés, où les contacts entre bandes rouges externes et jaunes internes évoquent plus souvent une stratification.

Les pores sont nombreux (8 à 10 % de la surface des lames) toujours revêtus d'argilanes.

90-140 cm : Horizon A'_2. L'assemblage est intertextique à granulaire. ***Le squelette grossier*** (0,5-3 mm) est constitué de quartz, de feldspath K, de très rares plagioclases. Les feldspaths sont sains, les quartz non fracturés. On note l'absence de biotites. Ces grains grossiers sont assemblés très lâchement, le plan de la lame ne passant qu'assez rarement par les points de contact. Cependant, la disposition du fond matriciel (cf. infra) et l'observation macroscopique montrent qu'ils constituent une charpente très aérée mais continue.

Le fond matriciel est essentiellement constitué de squelette fin (0,04-0,1 mm) de grains de quartz et de feldspaths, généralement en contact les uns avec les autres, les vides étant incomplètement comblés (porosité fine) par un plasma limoneux constitué de fragments cristallins non identifiables parfois mêlés de petites papules d'argile ferruginisée orientée. Ce fond matriciel est très discontinu, laissant ouverts de larges vides complexes (0,5-2 mm) dont la bordure est constituée alternativement par la paroi des grains grossiers et par du fond matriciel à squelette fin. Le toit des vides est constitué par la bordure, propre, d'un ou plusieurs grains grossiers, tandis que le plancher est formé de fond matriciel à squelette fin (Pl. X photo 37). Le sommet des grains grossiers (sur lequel repose le squelette fin qui constitue le plancher des vides sus-jacents) est surmonté de façon très générale par un mince niveau grisâtre (0,2 mm) constitué du même squelette fin associé à un plasma peu biréfringent limono-organique (Pl. X photo 38 ; voir aussi Pl. XIV photos 53 et 54 et Pl. XV photo 57). Il s'agit là des coiffes décrites par BOCQUIER (1971). Les coiffes peuvent déborder le sommet des grains qu'elles recouvrent et constituer l'amorce des stries décrites par le même auteur. Ainsi, sur la photo 38 de la planche X, la coiffe se prolonge latéralement à la faveur d'un granoclassement du squelette fin qui constitue un niveau d'arrêt (relatif) au même titre que le sommet du grain voisin. Mais ceci constitue presque une exception. Dans le cas général (voir autres photos citées) le squelette de la coiffe est de même taille que le squelette fin du fond matriciel lessivé environnant. On notera cependant que coiffes et stries ne sont ici jamais ferruginisées. Des argilanes assez épais (0,2 mm) brun rougeâtre, bien orientés, tapissent la base de certains des vides précédemment décrits ; ils peuvent alterner avec des dépôts de squelette fin ou squelettane (Pl. X photo 39). Ces derniers traduisent une illuviation de squelette fin. Des îlots de fond matriciel à plasma ferruginisé identique à celui du B sus-jacent persistent, isolés au sein du fond matriciel à squelette fin jointif qui en recoupe systématiquement les structures cutaniques.

140-200 cm : Horizon B'_2 — Assemblage agglomeroplasmique à porphyrosquelique au sommet, porphyrosquelique ensuite — Le squelette grossier est constitué de quartz non ou peu fracturé, de microcline sain ou altéré mais alors chargé de fer, de rares plagioclases sains; la biotite est absente de la fraction grossière.

Au sommet de l'horizon sur une quinzaine de centimètres, l'organisation du squelette fin par rapport au squelette grossier reste semblable à celle du A'_2. Mais les vides complexes sont partiellement comblés par un plasma jaune clair, à extinction striée parallèlement à la paroi du pore central (vo-sépique), comportant un peu de squelette fin. La porosité est encore forte.

Au-dessous, cet arrangement du squelette disparaît. Les grains grossiers sont isolés dans un fond matriciel à plasma jaune clair, orienté (masépique), qui comporte un squelette fin de quartz et feldspath dont la taille varie de 0,01 à 0,04 mm, quelques rares lamelles ferruginisées issues de biotites, d'assez nombreuses papules d'argile orientée. Le fond matriciel est parcouru de fissures ou de canaux. En bordure de ces vides, le plasma est soit strié parallèlement à la paroi (vo-sépique), soit constitué d'argile bien orientée de type cutane, mais ces zones cutaniques sont discontinues et passent progressivement au plasma strié aussi bien latéralement que vers l'intérieur (Pl. X photo 40).

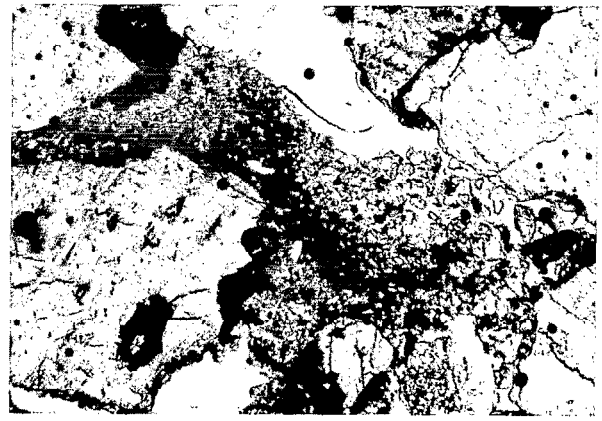
A la base de l'horizon, le contact avec l'arène est linéaire et recoupe toutes les structures de celle-ci : argilanes de pores, biotite altérée ou ferruginisée, fantômes de feldspath (Pl. XI photo 41).

200 cm : Arène à structure conservée identique à celle décrite en D1.

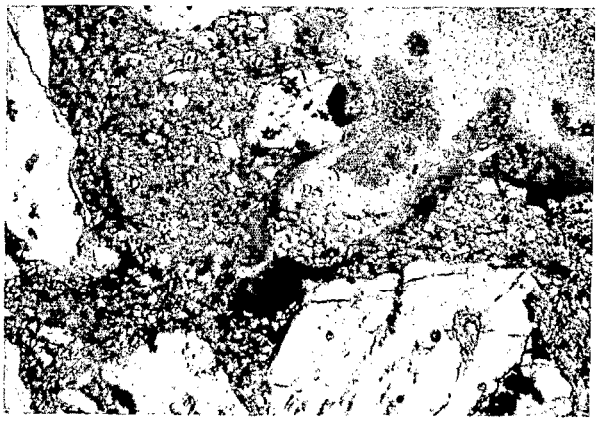
DIEBIGA : HORIZONS LESSIVÉS ET ILLUVIAUX



37. L.P. — Horizon lessivé A'_2.



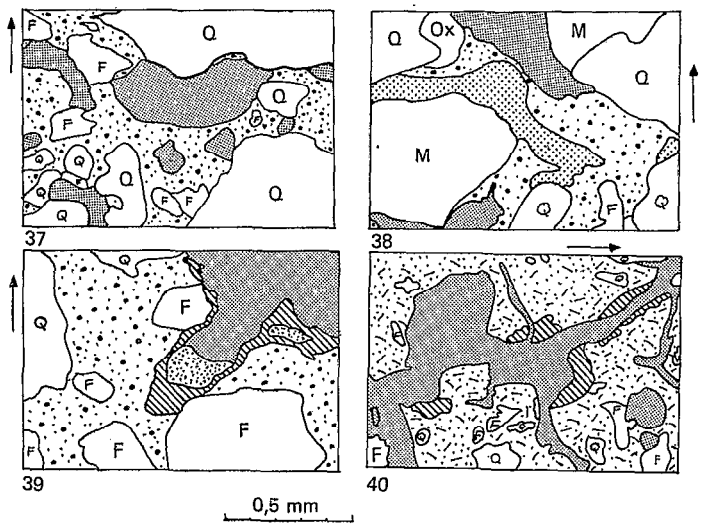
38. L.N. — Horizon lessivé A'_2. Coiffe apicale sur un quartz grossier.



39. L.N. — Horizon lessivé A'_2. Superposition de squelette fin et d'argilanes.



40. L.P. — Horizon B illuvial (B'_2).



CONCLUSIONS ET INTERPRÉTATIONS

Sequum supérieur :

L'horizon B diffère de ce qu'il était à l'amont sur deux points :

— La pédoplasmation est plus accentuée : le plasma d'altération a nettement diminué au bénéfice du fond matriciel pédoturbé (cf. fig. 23 p. 87).

— Il y a apparition à la fois de zones déferrifiées et de zones fortement ferruginisées. L'observation microscopique montre qu'il s'agit là essentiellement d'une différenciation in situ par migration d'hydroxydes aussi bien à l'échelle du fond matriciel que de l'argilane. Mais il n'est pas possible de déterminer le sens de ces migrations : y-a-il migration du plasma vers les solutions percolant dans les pores, donc appauvrissement de l'horizon en hydroxydes, ou migration de la paroi des pores vers l'intérieur, donc redistribution au sein du fond matriciel ? Toutefois, si l'on considère la différenciation latérale du B à partir du faciès amont (profil D1), on constate que l'apparition de zones décolorées va de pair avec celle de zones ferruginisées. Ce fait est observé couramment dans les horizons B des sols ferrugineux qui se carapacent. Sans avoir valeur de démonstration, ceci incline en faveur d'une redistribution. La zonation des argilanes permet même d'envisager la possibilité d'apport de fer sous forme d'argilo-ferranes, abondants dans cet horizon, et dont le fer, migrant vers l'intérieur, laisserait de l'argile déferrifiée en bordure des vides, argile qui pourrait être à nouveau remobilisée. Ce mode de transport et d'accumulation du fer, qui reste ici très hypothétique, rejoint celui proposé par STOOPS pour les sols latériques concrétionnés du Congo (1968), ainsi que les conclusions de BOCQUIER *et al.*, (1972).

Séquum inférieur :

L'horizon lessivé A'2 est caractérisé par :

1. *L'organisation particulière du squelette*

Le squelette grossier constitue une charpente très aérée qui délimite de larges vides.

Le squelette fin occupe la partie inférieure des vides. A sa base, bloqué par le sommet des grains grossiers qui le supportent, s'accumule un plasma résiduel limono-organique, faiblement anisotrope, qui constitue des coiffes. Le squelette fin comble également en partie les chenaux verticaux ou obliques dont la partie inférieure reste fréquemment vide parce que bloquée par un ou plusieurs grains grossiers ou par un étranglement. Cette localisation du squelette fin et son organisation lui confèrent une structure de dépôt.

2. *La localisation des argilanes*

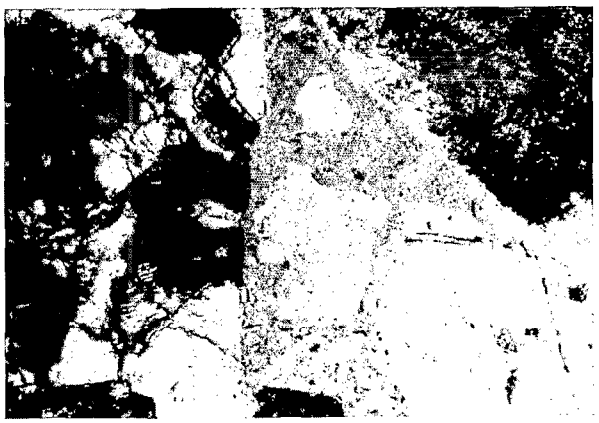
Les argilanes sont peu nombreux mais bien différenciés. Ils recouvrent les dépôts de squelette fin qui tapissent le plancher des vides et sont parfois interstratifiés à leur sommet. Ils sont donc secondaires à la porosité et à l'organisation du squelette décrites ci-dessus.

3. *La présence d'ilots résiduels du B sus-jacent* qui, totalement discordants avec les structures de l'horizon A'_2, constituent des pédoreliques autochtones et témoignent de la différenciation du A'_2 à partir de l'horizon B sus-jacent.

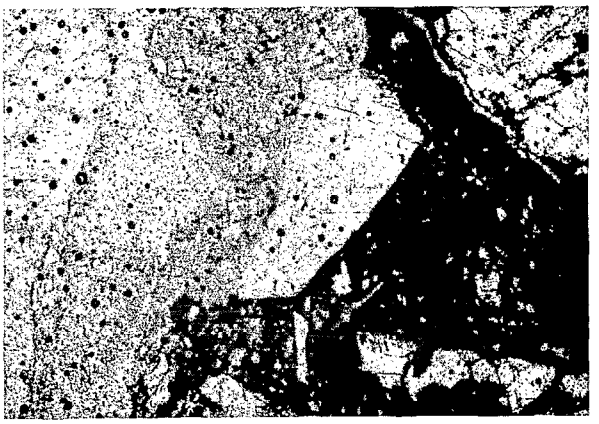
La transformation de l'horizon B en horizon A'_2 résulte en premier lieu du départ du plasma argilo-ferrugineux par lessivage. On constate que ce lessivage est pratiquement ***total*** car il ne laisse subsister que très peu de plasma argileux, ce qui en reste paraissant « en transit » sur les parois des pores. Il est aussi très ***brutal*** et ***détruit toutes les structures préexistantes*** lorsqu'elles sont fragiles ou constituées de produits mobilisables : fantômes de minéraux primaires, argilanes, ferranes. ***Il crée ainsi une porosité grossière***, qui remplace les substances entraînées, et ***réorganise le squelette*** en fonction de ce qui reste immobile (squelette grossier) ou qui bouge peu (squelette fin).

Au sommet de ***l'horizon B'2*** du plasma argileux vo-sépique jaune pâle comble des vides qui conservent l'organisation caractéristique du A'_2. Il s'agit donc d'une illuviation dans une structure lessivée. Plus bas, cette organisation disparaît et il n'est plus possible de

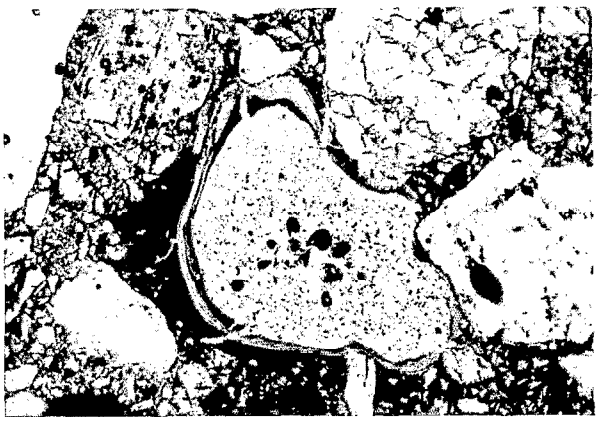
DIEBIGA : HORIZONS LESSIVÉS ET ILLUVIAUX



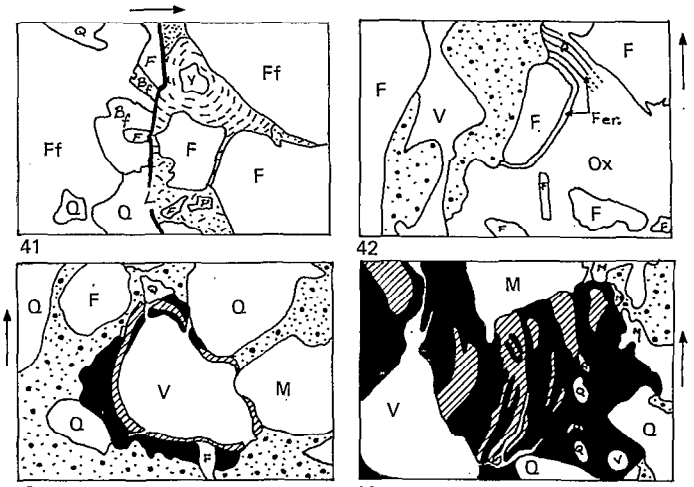
41. L.N. — Contact horizon B illuvial - arène. Le fond matriciel à plasma masépique recoupe les structures fragiles de l'arène, ici les biotites altérées et ferruginisées.



42. L.N. — Horizon B carapacé lessivé. Le fond matriciel « lessivé » recoupe le fond matriciel ferruginisé et ses structures cutaniques. Ces structures ne sont pas visibles sur la photo mais ont été partiellement dessinées sur le croquis.



43. L.N. — Sommet de l'horizon B''_2. Argilane complexe.



Échelle : 41, 42, 43, 0,5 mm

44 0,5 mm



44. L.N. — Sommet de l'horizon B''_2. Argilane complexe.

fond matriciel lessivé

fond matriciel à plasma masépique

plasma vosépique

argilane bien orienté

argilane non ou mal orienté

F: orthose Ff : orthose ferruginisée M : microcline

Q : quartz Bf : biotite altérée et ferruginisée Ox : oxydes Fer : ferranes

L : *limite horizon B illuvial-arène (photo 41)*

conclure directement quant à l'origine du plasma argileux. Toutefois, l'examen de la différenciation latérale des horizons depuis l'amont, montre que l'horizon B'_2 remplace, au même titre que le A'_2, l'horizon BC de la séquence verticale des horizons de l'amont. Or, dans l'horizon B'_2, on n'observe aucune des structures caractéristiques de l'horizon BC : biotites altérées, fond matriciel d'altération, fond matriciel pédoturbé à argilanes rouges... Bien plus, nous constatons que ces structures déjà présentes dans l'arène sous-jacente, sont recoupées par le fond matriciel à squelette fin de l'horizon B'_2 (Pl. XI photo 41). Or, on a montré précédems ment que la destruction de ces structures micropédologiques est le fait du lessivage. Ceci nout amène à admettre à la suite de Bocquier (1971) que, dans le sequum inférieur, en un poindonné, l'illuviation succède au lessivage, et que l'horizon B'_2 se développe dans la base de l'horizon A'_2 qu'il envahit. La disparition en profondeur de l'organisation éluviale du squelette est vraisemblablement due aux contraintes internes de l'horizon.

Bien que l'on vienne de conclure à la nature illuviale de la quasi-totalité du plasma de l'horizon B'_2g, les microstructures d'illuviation sont peu nettes. Les argilanes sont irrégulièrement développés avec alternance de zones striées et de zones à orientation uniforme ; leur transition avec le fond matriciel adjacent est rarement tranchée. Par ces caractères, ils se distinguent des argilanes du B supérieur et du A'_2. Cette orientation médiocre et discontinue des argilanes est attribuable à leur intégration progressive au fond matriciel par autobrassage (Fedoroff, 1968), sous l'effet des contraintes internes de l'horizon, ainsi qu'en témoignent l'organisation masépique du plasma et la présence de papules. Mais elle est aussi à relier au mode d'illuviation qui s'effectue par décantation au sein d'une nappe perchée ainsi que l'a montré Brammer (1971) dans des sols périodiquement inondés.

3. Sol ferrugineux carapacés à organisation biséquale : profil D8

Remarque : Lors de l'étude des profils D1 et D4, ont été décrites les principales organisations qui caractérisent les horizons de l'ensemble de la séquence. Ceci nous permettra d'étudier plus brièvement les profils suivants, en insistant seulement sur les variations à partir de ces organisations de base.

(a) Étude macromorphologique

0-20 cm : Horizon A_1 — Gris-brun (10YR 4,5/2,5). Sablo-graveleux — Massif à cohésion très faible — Porosité intersticielle très développée.

20-50 cm : Horizon A_2 — Brun clair (7,5YR 5/4) — Mêmes texture, structure et porosité. Entre 30 et 50 cm, îlots résiduels de B rouge (2,5YR 4/4) à taches beiges (10YR 7/4).

50-70/80 cm : Horizon B. Contraste fort, transition linéaire sinueuse. Carapace constituée d'un réseau brun (10YR 5/6) à taches brun rouge (5YR 4/8), beiges (10YR 6/5) et noires, très induré, englobant des plages beiges (10YR 8/2), sableuses, poreuses ou des tubulures vides. La cohésion d'ensemble n'est pas très forte, les blocs pouvant être brisés à la main, mais les fragments indurés ne peuvent être cassés qu'au marteau.

70/80-95/120 cm : Horizon A'_2 — Contraste fort. Transition linéaire sinueuse — beige clair (10YR 7/4,5) — Horizon lessivé très poreux, sablo-graveleux, presque particulaire. Ilots de carapace isolés au sommet de l'horizon. Présence de canaux grossiers.

95/100-130/150 cm : Horizon B'_2 — Contraste moyen, transition linéaire — beige clair (10YR 8/3) à réseau ocre diffus (10YR 7,5/6). Sablo-argilo-graveleux — Massif — Compacité croissante vers la base.

Enracinement assez abondant, présent jusqu'à 50 cm.

Les horizons A_1, A_2, A'_2, B'_2 sont morphologiquement identiques à ceux du profil D4. L'horizon B par contre est constitué d'une carapace à concentration ferro-manganésifère de type hydromorphe (pseudogley). Cette carapace constitue l'aboutissement de manifestations croissantes d'hydromorphie qui apparaissent nettement plus à l'amont. On relève ainsi, de l'amont vers l'aval, les faciès successifs suivants :

I — Horizon rouge vif homogène.

II — Ségrégations par décoloration de la périphérie de certains pores et formation de taches ferrugineuses rouge brunâtre. La teinte du matériel non affecté par ces ségrégations reste rouge. Il s'agit d'un pseudogley léger et localisé.

III — Décoloration de l'ensemble de l'horizon en même temps que se différencie un réseau ocre à taches noires et rouges. D'abord meuble à l'égal du reste de l'horizon, ce réseau s'indure progressivement en même temps que sa teinte s'assombrit et que ses limites deviennent plus nettes (pseudogley accentué et généralisé).

Les faciès II puis III apparaissent d'abord à la base de l'horizon B (ou de ce qu'il en reste) puis deviennent de plus en plus superficiels à mesure que l'on descend la pente. Leur répartition latérale dans l'horizon B est représentée sur la figure 25. Les limites sont figurées sous forme de lignes pour préserver la clarté du dessin, mais il importe de préciser qu'il s'agit en réalité de transitions très progressives. Ces limites sont inclinées vers l'aval mais leur pente est inférieure à celle du versant et elles sont recoupées par la base de l'horizon A_2. Par ailleurs, la persistance d'îlots de B à faciès II dans l'horizon A_2 du profil D7 alors que le B sous-jacent présente le faciès III, montre qu'au-dessus de cet horizon carapacé existait, avant lessivage, un horizon rouge à taches blanches. L'horizon A_2 tronque donc la séquence verticale des horizons primitifs et sa pente est supérieure à celle de ces horizons. Si l'on trace, partant du sommet de l'interfluve (profil D1), une ligne parallèle aux limites précitées, on constate que celle-ci est approximativement parallèle à l'enveloppe du sommet de l'arène alors que dans l'état actuel, la profondeur du sol diminue notablement de l'amont vers l'aval. Il est possible que nous ayons là une approximation de la forme de la topographie contemporaine de la période où s'est formé l'horizon B.

Le problème se pose de savoir si cette hydromorphie est actuelle ou ancienne. Or l'horizon A'_2 constitue, par son énorme porosité, un drain particulièrement efficace qui empêche actuellement, au moins dans la partie amont de la séquence, la stagnation de l'eau en dehors de celle piégée par les dépressions qui accueillent les horizons B'_2. De ce fait, il est probable que les conditions d'hydromorphie qui ont présidé à la formation de la carapace sont antérieures au développement de l'horizon A'_2.

(b) Étude micromorphologique

Les horizons lessivés et l'horizon B'_2 ont la même organisation qu'en D4.

L'horizon carapacé présente trois types de fond matriciel :

I — Fond matriciel à assemblage porphyrosquelique, plasma brun rouge à noir. Une partie importante du plasma se présente sous forme de ferro-argilanes ou de ferranes qui ne sont pas nécessairement en relation avec des vides actuels. Les pores sont bordés soit de ferranes, soit d'argilanes zonés (jaunes en bordure des vides, rouges au contact du fond matriciel). Cette organisation cutanique s'estompe lorsque l'opacité du plasma augmente, pour n'être plus perceptible dans le plasma opaque. Le plasma d'altération est présent (altération de feldspath K) mais peu abondant. Il est lui-même ferruginisé.

II — Fond matriciel porphyrosquelique à agglomeroplasmique, à plasma beige comportant encore des argiloferranes en position interne, les argilanes de pore étant tous jaune pâle. Le passage du type I au type II est continu, les proportions de plasma et de squelette sont les mêmes.

III — Fond matriciel à assemblage intertextique à granulaire, à plasma beige très clair peu abondant, squelette fin le plus souvent jointif (fond matriciel « lessivé »). Quelques pores seulement sont bordés d'argilanes jaune très clair. Localisé dans des chenaux larges (> 1 mm) ce fond matriciel est en contact discordant avec le fond matriciel ferrugineux (I) dont il recoupe les structures cutaniques (Pl. XI photo 42).

La correspondance entre les aspects macroscopiques et micromorphologiques est la suivante :

— Fond matriciel à plasma brun : réseau induré. Les taches noires coïncident avec les zones à plasma opaque.

— Fond matriciel à plasma beige : taches claires au sein du réseau induré.

— Fond matriciel « lessivé » : zones beiges sableuses englobées par le réseau carapacé.

Il n'est pas possible d'apprécier en lame mince la proportion de chacun de ces faciès parce que le premier et le troisième couvrent des surfaces d'un seul tenant supérieures aux dimensions des lames. Une estimation grossière sur le terrain montre que le réseau ferruginisé et les zones décolorées ou lessivées couvrent des surfaces à peu près équivalentes.

La carapace constitue le terme ultime de la différenciation amorcée dans l'horizon B du profil D4. Le fond matriciel à plasma rouge, omniprésent à l'amont, encore dominant en D4, a disparu ici pour faire place aux fonds matriciels à plasma ferruginisé ou au contraire décoloré que l'on avait vu apparaître dans le profil D4. On soulignera que cette ***différenciation s'effectue sans modification importante de l'organisation des constituants autres que les hydroxydes.*** Les relations entre plasma et squelette restent les mêmes ; il se produit tout au plus une augmentation progressive du fond matriciel pédoturbé et des cutanes par rapport à l'altéroplasma.

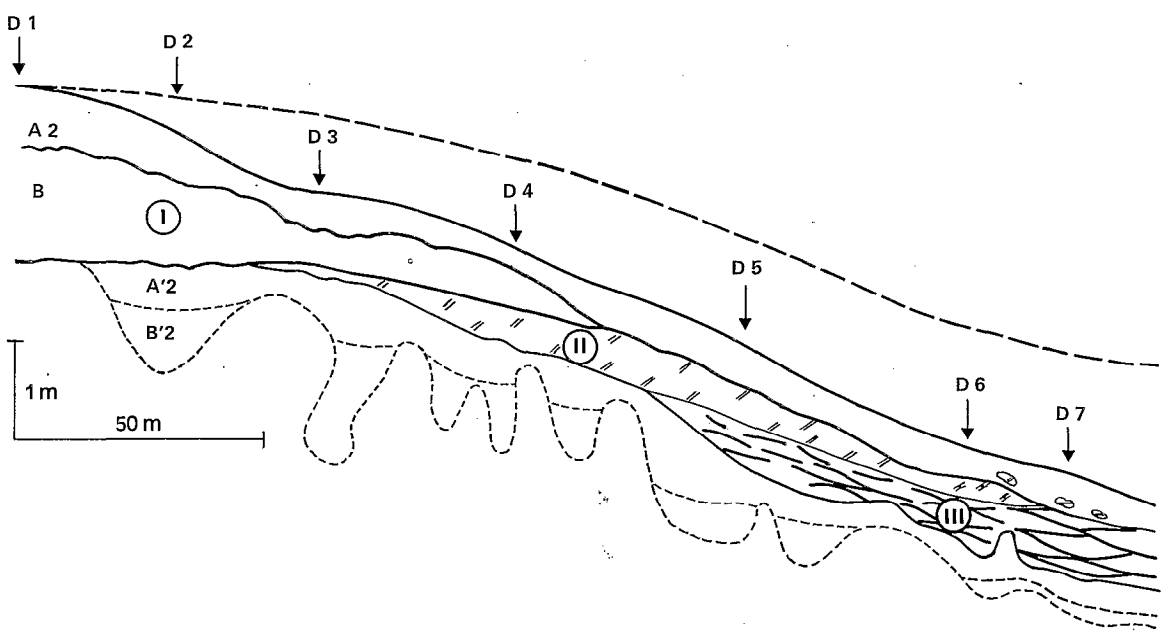


FIG. 25. — Diébiga. Mode d'apparition des ségrégations et de la carapace dans l'horizon B.

Mais la présence du fond matriciel de type III (lessivé) montre que la carapace, dès qu'elle apparaît, commence à se lessiver. Le contact linéaire et discordant entre le fond matriciel lessivé et le fond matriciel ferrugineux, dont il recoupe les structures, constitue une preuve de l'attaque de la charpente ferrugineuse par le lessivage « soutirant » et confirme la postériorité de ce lessivage par rapport au carapacement.

4. Sols lessivés à pseudogley et à reliques de carapace : profil D 10

(a) ÉTUDE MACROMORPHOLOGIQUE

0-15 cm : Horizon A_1 — Gris (10YR 5,5/1), quelques taches ocres diffuses (10YR 5/8). Sablo-graveleux. Structure massive, cohésion très faible. Porosité intersticielle et tubulaire forte.

15-50 cm : Horizon A_2-A'_2 — beige très clair, presque blanc (10YR 7/1). Ilots de carapace de quelques cm à 30 cm, forme très irrégulière, plus fragiles à leur périphérie, entourés d'un halo jaune pâle (10YR 7/6) ; la carapace est brune (7,5YR 5/6) à taches noires. Sablo-graveleux — Massif à cohésion très faible — Porosité intersticielle très forte — Canaux grossiers un peu moins abondants qu'en amont.

50-70 cm : Horizon B'_2 — Contraste moyen, transition linéaire — Beige (10YR 7/3) à taches réticulées ocres (10YR 5/8) — Sablo-argilo-graveleux. Compacité croissante vers la base. Pénètre jusqu'à 150 cm dans l'horizon sous-jacent par l'intermédiaire de diaclases plus ou moins ouvertes en coin.

70 cm : Arène à structure conservée.

Enracinement très abondant dans le premier horizon, diminue ensuite pour disparaître vers 40 cm.

Dès le profil précédent (D8), l'on peut estimer que l'horizon A'_2 profond a effectué sa jonction avec l'horizon lessivé supérieur par le biais des parties non indurées de l'horizon B. Celles-ci sont en effet très poreuses et pauvres en plasma. Bien que son attaque par lessivage soit évidente aussi bien macroscopiquement (pédoreliques isolées dans les horizons lessivés qui l'encadrent), que microscopiquement, le réseau carapacé reste continu, presque jusqu'en bas de pente. Sa dissociation massive en îlots résiduels va de pair avec l'apparition d'un léger pseudogley qui affecte tout le profil. La disparition de la carapace, en tant qu'horizon continu, ne permet plus de distinguer ce qui revient à l'horizon lessivé supérieur et à l'horizon lessivé profond. Afin de rappeler la double origine de l'horizon lessivé de ce profil, on le représente par le symbole A_2-A'_2.

(b) Caractères micromorphologiques

L'organisation de base des horizons est identique à celle du profil D6. Malgré la jonction des deux horizons lessivés, l'horizon A_1 et la partie supérieure du A_2-A'_2 n'acquièrent pas l'organisation à polarité verticale caractéristique du A'_2. Leur assemblage est granulaire avec des vides d'entassement dont il n'est pas possible de distinguer le plancher du toit grâce au groupement du squelette fin. Cette organisation n'apparaît que vers 30 cm, dans le niveau à blocs de carapace ; elle est par ailleurs plus fruste qu'à l'amont et l'on n'observe plus que de très rares coiffes à plasma gris. Elles sont par ailleurs peu nettes. Les taches ocres observées à l'œil nu correspondent à des concentrations diffuses d'hydroxydes, qui imprègnent le plasma peu abondant localisé entre les grains du squelette fin.

Les îlots de carapace sont exclusivement constitués de fond matriciel ferruginisé et de ferranes, percés de canalicules à fond matriciel lessivé.

5. Planosols : profil D11

(a) Description macromorphologique

0-15 cm : Horizon A_1 — Gris (10YR 5,5/2,5), homogène — Sablo-graveleux — Structure massive, cohésion faible — Porosité tubulaire et intersticielle très développée.

15-50 cm : Horizon A_2-A'_2 — Beige très clair (10YR 6/4) à plages ocres diffuses (5YR 5/6) — Entre 30 et 50 cm, îlots de carapace à ciment brun et noir, forme irrégulière, 1-15 cm, à halo ocre clair. Sablo-graveleux — Massif à cohésion faible. Porosité intersticielle très forte. Présence de canaux grossiers.

50-100 cm : Horizon B'_2. Contraste faible, transition linéaire — Beige très clair (10YR 7/2) à taches réticulées ocres (7,5YR 6/8) diffuses. Mêmes îlots carapacés que ci-dessus, certains étant entièrement inclus dans l'horizon, d'autres sont enchassés à leur base dans le sommet de l'horizon, tandis que leur partie supérieure reste dans l'horizon lessivé. Argilo-sablo-graveleux. Massif à cohésion forte — Porosité tubulaire faible.

100 cm : Horizon C — Contraste moyen, transition ondulée — Arène à structure conservée — Pénétrations argileuses grises le long de diaclases.

Enracinement : abondant jusqu'à 15 cm, présent jusqu'à 50 cm.

Variations par rapport au profil D10 :

Malgré la similitude morphologique des horizons et une épaisseur totale du profil équivalente, on note les différences suivantes :

— L'horizon B'_2 est plus épais, et il est continu et non plus localisé dans les dépressions du sommet de l'arène.

— Le niveau à pédoreliques carapacées se situe à cheval sur la limite A'_2-B'_2. Grâce à l'étude des étapes successives de différenciation des horizons à partir de l'amont, cette disposition permet de conclure que l'horizon B'_2 a connu les états successifs suivants :

1. Horizon B à pseudogley carapacé
2. Horizon lessivé
3. Horizon illuvial

Ceci démontre que l'horizon B'_2 monte vers la surface et envahit l'horizon lessivé.

(b) Caractères micromorphologiques

Ils sont identiques à ceux du profil D10.

6. Planosols à organisation biséquale : profil D12

(a) Description macromorphologique

0-17 cm : Horizon A_1 gris (10YR 5,5/2), homogène, sablo-graveleux — Massif à cohésion faible, Porosité forte.

17-170 cm : Horizon A_2-A'_2 — Contraste moyen, transition progressive — Beige (10YR 6/3), s'éclaircissant vers la base (10YR 7/2). Taches ocres diffuses (10YR 7/8) — Ilots carapacés de 1 à 25 cm, localisés entre 50 et 120 cm — Sablo-graveleux — Structure subparticulaire de plus en plus fragile vers la base — Porosité intersticielle très développée.

170-240 cm : Horizon B''_2 — Transition linéaire, légèrement sinueuse, soulignée par une fissure continue.
— Sur les 10 premiers cm, brun légèrement rouge (5YR 5/6). Très abondants revêtements argileux brun rouge, quelques films sableux beiges — Sablo-argilo-graveleux. Massif avec quelques fentes verticales — Cohésion moyenne à forte. Encore assez poreux.
— Puis beige à taches réticulées ocres et taches brun rouge non indurées — Argilo-sablo-graveleux. Fentes de retrait polygonales apparaissant au séchage et délimitant des polyèdres de grande taille (10-15 cm). Cohésion très forte en sec — Porosité tubulaire faible.

240-270 cm : Horizon A'_2B' — Contraste faible, transition rapide. Même teinte d'ensemble. Taches ocres plus petites et moins contrastées — Nettement moins argileux, même squelette sablo-graveleux. Massif à débit polyédrique 1-2 cm. Cohésion moyenne. Porosité tubulaire bien développée.

270-350 cm : Horizon B'_2 — Contraste faible, transition rapide — Mêmes teintes — Plus argileux — Structure massive à cohésion forte — Porosité tubulaire faible.

350 cm : Horizon C — Arène granitique à structure conservée.

Enracinement : abondant jusqu'à 20 cm, présent jusqu'à 40 cm.

Ce profil est nettement plus épais que le profil précédent (3,5 m contre 1 m). Cet épaississement se répartit également entre les horizons lessivés et illuviaux. Un fait nouveau consiste dans le ***dédoublement des horizons A2 et B.*** L'horizon B supérieur (B''_2g) présente une différenciation de couleur nette en même temps que des structures de retrait accentuées, absentes de l'horizon B'_2g aussi bien dans ce profil qu'à l'amont. L'horizon A'_2B' intermédiaire se distingue essentiellement par une porosité fine nettement plus développée et une texture moins argileuse. L'horizon B'_2g profond est identique à ce qu'il était en D11. L'hydromorphie, toujours peu marquée dans l'horizon A_2-A'_2, affecte la presque totalité du profil.

Les variations latérales des horizons ont été observées par sondages entre les fosses pédologiques (fig. 18). Les limites entre horizons A_2 et B_2 sont régulières en grand. L'horizon B''_2g se présente en coupe sous forme d'une langue enracinée au sommet du B'_2g à l'aval et qui s'en détache progressivement. Sa pente moyenne est donc légèrement supérieure à celle du B'_2g. L'horizon A'_2B' communique à l'amont avec l'horizon A_2-A'_2. Vers l'aval, il s'estompe par diminution de la porosité mais reste perceptible jusqu'en D13.

L'ensemble B''_2-A'_2 B'-B'_2 est interrompu à l'aval par une pegmatite qui matérialise la limite géologique. Au-delà se trouve une argile d'altération de migmatite basique à grain fin, verdâtre (5Y 5/3), pétrie de feldspaths friables, compacte. Les horizons A_1 et A_2-A'_2 par

contre se poursuivent au-delà de cette limite, jusqu'au thalweg. Toutefois, par leur seule texture grossière, riche en graviers, qui contraste avec celle nettement plus fine de l'argile d'altération, ils témoignent de leur origine colluviale. Simultanément, les reliques de carapace disparaissent, exception faite de quelques fragments, petits (1-3 cm) et arrondis. Le colluvionnement n'est certainement pas limité à la zone située sur migmatite basique et il affecte très probablement la partie supérieure des profils amont pour une part, il est vrai, difficile à préciser par suite de l'homogénéité de la roche mère granitique. Toutefois, on peut admettre qu'il n'est susceptible d'avoir remanié le niveau à reliques carapacées qu'à partir du profil D13, dont les restes ferruginisés sont de petite taille et arrondis. Plus à l'amont, en D12 en particulier, ces reliques atteignent des dimensions nettement plus importantes (30 cm), leurs formes sont irrégulières, parfois engrenées, ce qui plaide en faveur de leur autochtonie.

(b) Caractères micromorphologiques

L'organisation des horizons A_1 et A_2-A'_2 reste identique à ce qu'elle était à l'amont.

Au sommet de l'horizon B''_2 (sous horizon brun-rouge), l'organisation du squelette reste de type éluvial : charpente très aérée de grains grossiers, squelette fin plus particulièrement localisé à la partie inférieure des vides de grande taille (0,5-3 mm). Mais, la plupart de ces vides sont partiellement comblés d'un plasma constitué d'alternances d'argilanes jaunes, très bien orientés, exempts de squelette, analogues à ceux que l'on observe dans l'horizon A'_2 et d'argilanes à plasma granuleux à extinction striée, mêlé d'un peu de squelette fin (Pl. XI photos 43 et 44). On peut ainsi compter jusqu'à 6 cutanes superposés. Le volume des argilanes striés est nettement supérieur à celui des argilanes uniformément orientés. Chaque type d'argilane correspond nécessairement à un mode de dépôt particulier. Il est exclu en effet d'attribuer la striation aux contraintes internes qui eussent nécessairement affecté les argilanes plus internes, antérieurement déposés. La présence d'un peu de squelette fin dans les argilanes striés suggère que ceux-ci ont été déposés sous l'effet d'un régime hydrique différent de celui qui a présidé à la formation des argilanes uniformément orientés.

Le corps de l'horizon B''_2 présente un assemblage porphyrosquelique. Le squelette fin ne montre plus de groupement particulier, il est dispersé au sein du plasma. Le fond matriciel est parcouru d'un réseau de fissures dont une partie constitue probablement des artefacts liés à la dessiccation artificielle de l'échantillon. En effet, certaines de ces fissures sont bordées de plasma fortement orienté parallèlement à leur paroi et sont vraisemblablement des vides naturels, tandis que d'autres recoupent au contraire l'orientation du plasma. Les argilanes caractéristiques, c'est-à-dire à bords internes nets sont rares et tapissent certaines fissures. Plus souvent il n'est pas possible de distinguer argilane et cutane de contrainte par suite d'un passage diffus au plasma du fond matriciel. Le plasma est très fortement vo-squel-masépique. L'orientation autour des grains du squelette est particulièrement accentuée et témoigne d'un dynasmisme (Fedoroff, 1968) très vigoureux. Ce dynamisme est probablement responsable à la fois de la disparition des cutanes et de la dispersion du squelette fin au sein du fond matriciel. Il est à mettre en relation avec le retrait très accentué constaté lors de l'examen macroscopique. On note également la présence de concentrations ferrugineuses diffuses par imprégnation du plasma, pouvant localement se différencier en nodules circonscrits.

L'horizon A'_2 B' présente un fond matriciel à organisation éluviale au sein duquel se localisent, centrés autour de pores, des îlots de fond matriciel à organisation illuviale identique à celle du B'_2 : argilanes striés, plasma vo-squel-masépique, squelette fin dispersé. Les zones illuviées couvrent environ le tiers de la surface. L'horizon A'_2 B' apparaît ainsi comme un horizon A_2 incomplètement illuvié, ce qui justifie sa symbolisation.

L'horizon B'_2 présente la même organisation qu'à l'amont. Les structures illuviales sont moins profondément transformées qu'en B''_2 : argilanes médiocrement orientés mais épais et nombreux, papules... On a pu saisir en lame mince le contact avec l'horizon C qui montre la même discordance du fond matriciel illuvié avec les structures cutaniques de l'horizon C que dans le profil D4.

D. RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

L'étude morphologique de cette suite ordonnée de profils a permis de caractériser les variations latérales de plusieurs sortes d'horizons, d'en décrire l'organisation et de mettre en évidence leur filiation. L'ensemble est résumé dans le tableau X.

Deux types de séquences génétiques d'horizons sont à distinguer :

1) *La première* n'est complète qu'à l'amont. Elle montre la différenciation à partir de la roche mère d'une arène, d'un horizon BC puis d'un horizon B sous l'influence principale de 3 mécanismes.

1. ***Altération des minéraux primaires*** avec maintien sur place des minéraux secondaires qui constituent un ***altéroplasma***

2. ***Réorganisation localisée*** des produits de l'altération en un fond matriciel pédoturbé sous l'effet d'actions mécaniques liées à la pénétration de l'eau et à l'activité biologique.

3. ***Migration d'argile*** aboutissant à la formation de cutanes orientés.

L'horizon B doit son plasma simultanément à l'altération in situ et à la redistribution de l'argile par lessivage. Il s'agit donc d'un ***horizon B d'altération et d'illuviation.***

Les réorganisations induites par les deux derniers mécanismes ne font intervenir que des ***déplacements sur courte distance*** à l'échelle de l'horizon, et ces déplacements ne mobilisent à la fois qu'une faible partie du matériel permettant ainsi le maintien de structures d'altération jusqu'au sommet de l'horizon.

A aucun stade de ces transformations il n'y a séparation du plasma et du squelette qui restent toujours associés dans le fond matriciel.

Ces transformations sont par ailleurs ***continues*** et si elles présentent parfois des variations rapides pouvant induire macroscopiquement des transitions brusques, comme celle qui sépare l'arène de l'horizon BC, l'examen microscopique montre qu'il y a, même en ce cas, continuité des structures (structures cutaniques, structures d'altération).

S'il n'est pas possible de suivre la différenciation verticale des horizons B à taches et à carapace à partir de l'arène par suite de l'intercalation de l'horizon lessivé profond, l'analogie de leur organisation avec celle du B rouge de l'amont permet d'attribuer leur formation aux mêmes mécanismes. La différenciation ferrugineuse se surimpose à cette organisation.

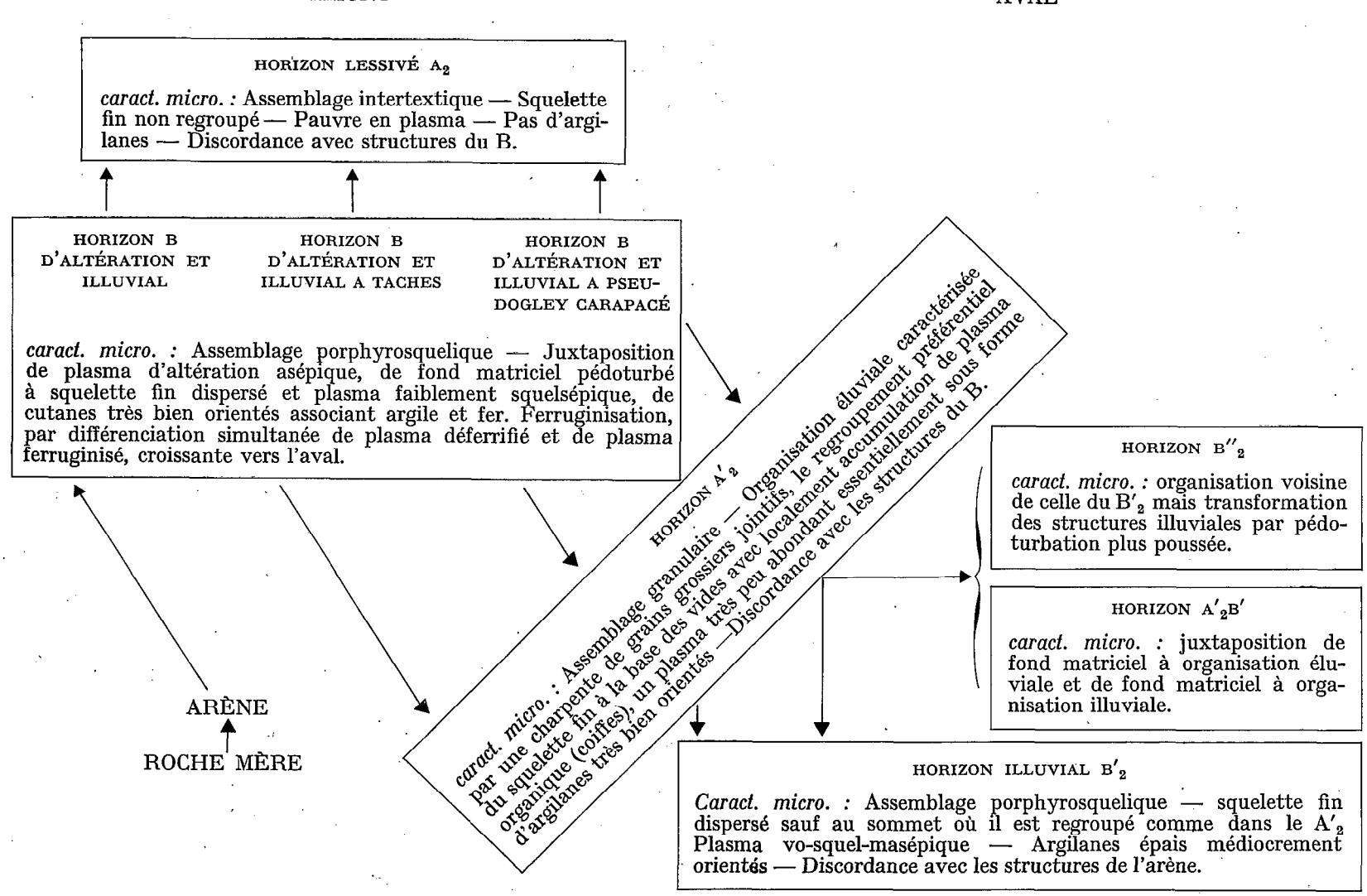
2) *La seconde séquence* d'horizons résulte de la transformation par lessivage des horizons précédents avec :

1. ***Destruction des structures*** (cutaniques et d'altération). Cette destruction est brutale et se traduit par la discordance entre le fond matriciel lessivé et le fond matriciel initial.

2. ***Séparation des constituants selon leur mobilité.*** Le squelette grossier reste sur place ou bouge peu. Une partie, apparamment faible, du squelette fin est susceptible de migrer dans les pores grossiers où elle s'intercalle avec des argilanes. Le plasma est entraîné en premier lieu à la base de l'horizon lessivé. La distance de transport vertical est en relation avec la puissance de l'horizon lessivé ; faible à l'amont (centimétrique) au niveau des îlots lessivés, elle s'accroît vers l'aval à mesure que l'horizon lessivé monte dans le profil. Les transports latéraux à l'échelle du versant ou même du bassin deviennent d'autre part possibles dès qu'est établie la continuité de l'horizon lessivé.

3. ***Réorganisation du squelette.*** Libéré de sa gangue plasmique, le squelette grossier devient plus ou moins jointif et délimite des vides de grande taille à la base desquels s'accumule le squelette fin. A la partie inférieure de ce squelette fin, c'est-à-dire au sommet du ou des grains grossiers sous-jacents, s'effectue une nouvelle différenciation par accumulation d'un plasma limono-organique résiduel qui constitue les coiffes. Les coiffes les mieux différenciées

Tableau X. ORGANISATIONS ET FILIATIONS DANS LA TOPOSÉQUENCE DE DIÉBIGA



et les plus nombreuses sont à l'amont. Vers l'aval, lorsque l'horizon lessivé a envahi toute la partie supérieure du profil, elles sont moins nettes, plus rares, voire même absentes.

4. ***Formation d'horizons illuviaux*** par accumulation du plasma, prélevé dans les horizons BC puis B de la première séquence, à la base ou à l'aval de l'horizon lessivé. Là où cette illuviation est récente et incomplète, c'est-à-dire au sommet des horizons illuviaux, l'organisation éluviale du squelette se maintient. Plus bas, le squelette fin est à nouveau réorganisé par dispersion au sein du plasma illuvié sous l'effet de la dynamique interne de l'horizon. Cette illuviation s'effectuerait essentiellement par décantation au sein de nappes perchées. Sa localisation est donc fonction de l'existence de pièges susceptibles de retenir l'eau de percolation. Nous en avons jusqu'ici rencontré deux sortes, qui sont elles-mêmes liées à des variations locales de l'altération :

— irrégularités du sommet de l'arène qui ne permettent que la formation de corps illuviaux limités et discontinus. Ces irrégularités sont liées au système de diaclases ;

— variation lithologique dans le sens d'une basicité plus grande de la roche mère associée à un grain plus fin, qui détermine la formation d'un matériau d'altération très argileux, vertique et imperméable, qui bloque la percolation vers l'aval. L'horizon illuvial est alors continu.

5. ***Existence de limites tranchées entre horizons :***

— linéaires avec discordance des micro-structures entre les horizons de la première séquence et ceux de la seconde séquence,

— linéaires mais sans discordance des micro-structures entre les horizons A_2 et B de la seconde séquence. Il s'agit là de limites planiques.

D'une façon plus générale, l'évolution pédologique de ces versants apparaît comme la transformation d'une couverture de sols originelle sous l'effet d'un lessivage agressif. La couverture originelle résultait à la fois de l'altération, d'un lessivage ménagé et d'une ferruginisation. La ferruginisation déterminait une différenciation latérale à transitions progressive caractérisée par la succession, de l'amont vers l'aval, de sols à B rouge homogène, de sols à B taché, de sols à B carapacé. Ce qui reste des horizons de ces derniers sols est toutefois insuffisant pour que l'on puisse se faire une idée précise de ce qu'était leur profil complet. Le lessivage agressif transforme les sols précédents en séparant et éloignant les constituants en fonction de leur mobilité.

La brutalité de cette transformation, qui s'oppose à la continuité des différenciations de la couverture de sols initiale, évoque une rupture d'équilibre du régime hydrique, rupture d'équilibre qui peut résulter de la différenciation pédologique elle-même (auto-développement — Rode et Sukacheff cités par Kremer, 1970 ; Bocquier, 1971), ou de la variation des facteurs externes (climat, et, corrélativement, biosphère), ou des deux.

II. LA TOPOSÉQUENCE DE GARANGO II

A. ROCHE MÈRE, MODELÉ, VÉGÉTATION

La roche mère est une migmatite à grain moyen, assez leucocrate, à quartz, orthose, microcline, oligoclase, biotite, hornblende, épidote, comportant des enclaves flexueuses mélanocrates à biotite et amphibole.

Le versant étudié est situé au pied d'un vaste inselberg de 90 m de haut. Il est dans l'ensemble légèrement concavo-convexe avec une seconde inflexion aux abords de l'axe de drainage auquel il aboutit (cf. fig. 26). Sa pente générale est de 2 %.

La végétation naturelle est très fortement dégradée par la culture. Les sols de la périphérie de l'inselberg sont en effet très recherchés par les agriculteurs, d'une part parce que, très meubles en surface, ils sont faciles à travailler, d'autre part pour leur régime hydrique en général très favorable. Les cultures se répartissent en mil, arachide, sorgho sur le versant, riz dans les zones basses. Les arbres sont absents sauf au pied de l'inselberg où végètent d'assez nombreux *Ficus gnaphalocarpa*. Le tapis herbacé est à dominance d'andropogonées *(A. gayanus, A. pulchelum)* associées à *Eragrostis trémula, Pennisetum pedicellatum* à l'amont. Vers l'aval, à 150 m du pied de l'inselberg, *Schoenfeldia gracilis* apparaît en abondance et se maintient, associée à *Andropogon gayanus*, jusqu'aux abords du thalweg où ces deux espèces font place à un tapis à *Vetiveria nigritiana*.

B. ORGANISATION GÉNÉRALE DE LA TOPOSÉQUENCE : fig. 26 (h.t.)

La succession des profils au long de la pente apparaît à première vue très complexe. Il est souvent très difficile de situer la plupart de ces profils dans le cadre de la classification française ou de toute autre classification actuelle. De plus, une simple énumération éclairerait peu le lecteur en l'absence d'indications sur la façon dont un profil passe latéralement à ceux qui l'encadrent. Aussi un coup d'œil préalable sur l'ensemble de la toposéquence facilitera-t-il l'exposé détaillé des faits. On pourra suivre pas à pas cette description d'ensemble sur la figure 26 en dépliant à la fin du volume.

Au pied de l'inselberg ou knick, et sur une trentaine de mètres, le sol est rouge, de type ferrallitique jeune. Ses caractères de jeunesse ont trait à son épaisseur relativement faible (1,5 à 3 m) et à la persistance de minéraux altérables (feldspaths principalement) jusqu'en surface. De façon synthétique, se succèdent à partir de la surface un horizon A_1 brun rouge, un horizon B rouge homogène, à structure polyédrique fine, friable, un horizon Bg. Cet horizon Bg, épais de 30 à 60 cm, repose directement sur la roche dure ; il est constitué d'un réseau rouge compact, englobant des zones beiges plus poreuses. On le désignera sous le terme d'horizon réticulé, plus évocateur que le symbole Bg.

Lorsqu'on descend la pente, le front d'altération remonte puis s'abaisse à nouveau, toujours moulé par l'horizon réticulé qui est bientôt surmonté d'un horizon à taches rouges isolées (Bcn). L'horizon réticulé, dont la limite supérieure reste approximativement parallèle à la surface du sol, s'épaissit par enfoncement du front d'altération. Simultanément les horizons sus-jacents perdent leurs caractères morphologiques ferrallitiques (structure et couleur essentiellement), devenant plus massifs et de teinte plus claire.

A 35 mètres du knick, à la base de l'horizon réticulé, au contact de la roche, apparaît un horizon A'_2 dans lequel les zones beiges sont vidées de leur fraction fine, tandis que le réseau rouge semble respecté. Les transitions supérieures et inférieures de cet horizon lessivé sont très nettes et les 2 surfaces qui le délimitent forment un dièdre ouvert vers l'aval. L'horizon A'_2 affecte successivement tous les horizons du profil initial et atteint la surface à 100 m du knick. Il conserve cependant certains traits des horizons qu'il envahit (tels que le réseau rouge de l'horizon réticulé, une partie des taches du Bcn etc.), et présente de ce fait des faciès variés.

A la base de l'horizon lessivé, mais avec un retard d'une trentaine de mètres, se développe un horizon d'accumulation d'argile. La partie supérieure de cet horizon reste très poreuse (A'_2B'), malgré la présence de films argileux luisants, tandis que sa base est nettement colmatée (B'_2). Cet horizon d'accumulation s'épaissit vers l'aval par augmentation de la zone à illuviation discontinue (A'_2 B'). Dans l'horizon A'_2, le réseau rouge, qui persistait apparemment intact, s'amaigrit vers l'aval et devient discontinu, en même temps que se développe une fissuration verticale débitant de larges prismes, dont les parois sont saupoudrées de sables fins à moyens, blancs.

A 120 m du knick apparaît, au sein de l'horizon lessivé et surmontant le A'_2B', un horizon argileux en forme de langue inclinée vers l'aval, compact, riche en films argileux gris.

Il s'agit d'un second horizon d'accumulation d'argile B''_2. Deux autres horizons B en langue (B'''_2 et B''''_2) apparaissent successivement à 150 et 300 m du knick, chacun d'eux surmontant le précédent dont il est séparé par un horizon A_2B plus poreux, incomplètement colmaté par des revêtements argileux.

Cet ensemble d'horizons illuviaux surmonte un matériau argileux principalement caractérisé par sa richesse en minéraux altérables (horizon BC). Cet horizon devient de plus en plus superficiel vers l'aval. Les horizons illuviaux et leurs A_2B intermédiaires disparaissent successivement et l'on observe alors des sols morphologiquement identiques à ceux de la toposéquence de Garango I.

C. LES DONNÉES MORPHOLOGIQUES ET LEUR INTERPRÉTATION

La présentation des faits morphologiques sera différente de celle adoptée pour les toposéquences de Diébiga. A Diébiga, nous avons une première fois décrit les caractéristiques et l'organisation dans l'espace des divers horizons qui constituent les toposéquences contrastées. Pour cette première approche il était nécessaire d'utiliser la méthode classique, mais un peu fastidieuse, qui consiste à considérer successivement les divers types de profil qui s'échelonnent au long de la pente. Maintenant que l'organisation latérale des différents horizons de ce type de toposéquence nous est devenue familière, il est possible de procéder de façon plus synthétique en envisageant l'un après l'autre les domaines ou horizons pédologiques, qui se succèdent de l'amont vers l'aval. On étudiera ainsi successivement :

1. Les sols ferrallitiques de l'amont
2. Le passage des sols ferrallitiques aux sols ferrugineux
3. L'horizon lessivé A'_2
4. Le système illuvial inférieur ($A'_2B' + B'_2$)
5. Les horizons B en langue et les horizons lessivés intercalés
6. L'horizon BC et les sols de l'aval.

Cette méthode d'exposition ne nous est toutefois permise que parce que, lors de l'étude de terrain, nous avons, à Garango II aussi bien qu'à Diébiga, vérifié la continuité latérale de ces domaines ou horizons.

1. Les sols ferrallitiques de l'amont

Le profil des sols ferrallitiques amont présente la succession d'horizons suivante (profil type $G_{II}1$) :

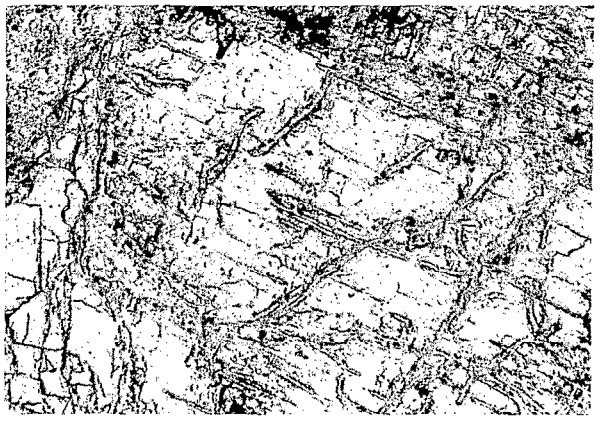
— Un horizon humifère I A_1 de 15 cm, brun rouge (5YR 4/3,5), homogène, sablo-argileux, à structure polyédrique 1 cm en assemblage compact. La cohésion d'assemblage est faible, celle des polyèdres moyenne à forte. La porosité est tubulaire, fine, bien développée :

— Un horizon I B rouge (2,5YR 3,5/6) de 50 cm, argilo-sableux, à structure polyédrique fine (0,5 cm), en assemblage compact mais très fragile (horizon friable). Les polyèdres ont une cohésion moyenne et se résolvent eux-mêmes à l'écrasement en petits agrégats de 1 à 2 mm. Porosité tubulaire fine très bien développée.

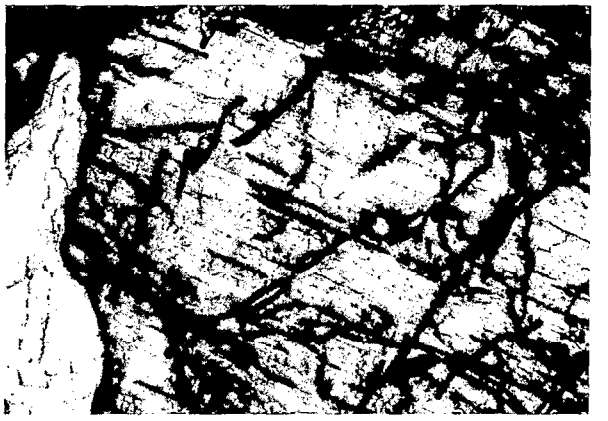
— Séparé du précédent par une « ***stone line*** » de 10 cm d'épaisseur, constituée de blocs de quartz anguleux, de fragments de granite plus émoussés, fragilisés par l'altération, à emballage peu abondant identique à ci-dessus, un horizon II B rouge (2,5YR 4/8), épais de 1 à 2 m, sablo-argileux, polyédrique 0,5-3 cm, en assemblage un peu plus cohérent que dans l'horizon sus-jacent (structure moins différenciée). Cohésion des polyèdres moyenne à forte. Porosité tubulaire fine bien développée. Cet horizon se distingue d'emblée du précédent par la régularité de la disposition des sables grossiers (constitués principalement de quartz ainsi que de quelques feldspaths friables), qui sont enchassés dans un matériau argileux rouge.

PL. XII

GARANGO II : LE SOL FERRALLITIQUE AMONT ($G_{II}1$)

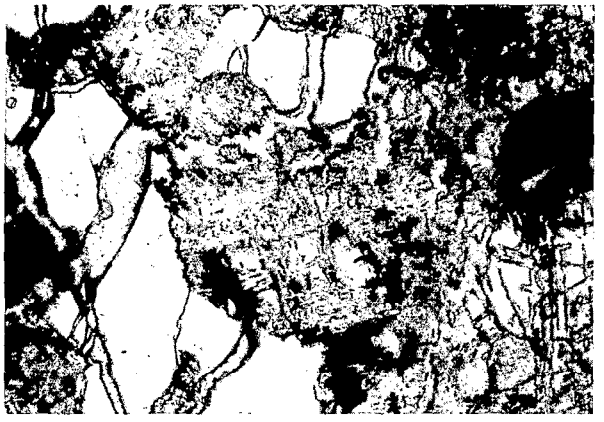


45. L.N.

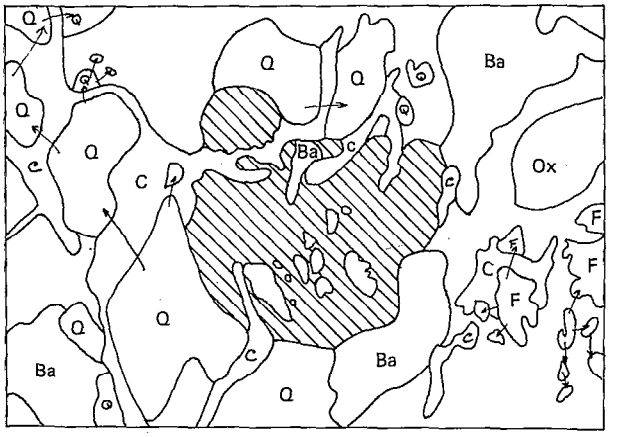


46. L.P.

Migmatite à la base du sol ferrallitique amont. Altération canaliculaire avec formation de gel.



47. L.N. — Cortex d'altération coiffant la roche mère du sol ferrallitique amont.



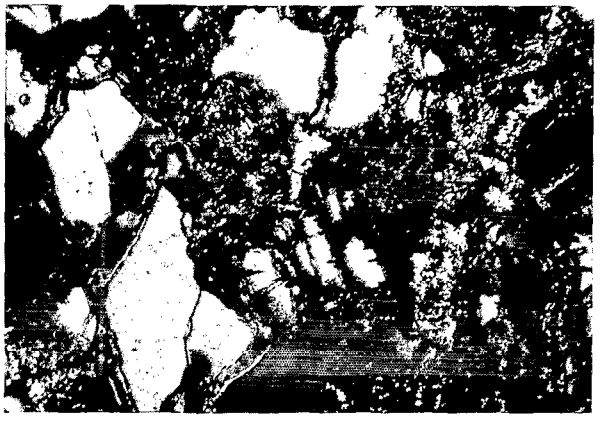
Échelle : 45 et 46 — 0,5 mm

47 et 48 — 0,5 mm

fantôme d'un unique cristal d'orthose avec des résidus cristallins intacts non déplacés

Les fragments reliés par des flèches appartiennent à un même cristal de quartz ou de feldspath. Bien que celui-ci soit traversé de canaux parfois larges, ses fragments n'ont pas subi de déplacement

Q : quartz F : orthose Ba : biotite altérée Ox : oxydes
C : canal à argilanes



48. L.P. — Même vue que 47.

Le matériau argileux rouge diminuant localement, on passe à des îlots de granite à structure conservée, mais complètement arénisés et aussi meubles que la masse environnante.

— Un horizon II Bg, épais de 30 à 50 cm, constitué d'un réseau rouge (2,5YR 4/8), compact, sablo-argileux, sur fond beige jaunâtre (10YR 6,5/6) un peu plus poreux (horizon réticulé). La structure est massive avec débit horizontal plus aisé (tendance lamellaire). La cohésion est moyenne, l'horizon légèrement humide.

— Le passage à la roche mère est rapide. Le sommet de la migmatite est bordé d'un cortex d'altération brunâtre épais de 1 cm, peu cohérent.

La présence de la « stone line » dans la partie amont de la toposéquence montre que le sol y est polyphasé. En effet, les blocs de granite de cette « stone line » sont plus frais que les îlots arénacés de l'horizon II B. On doit alors interpréter le profil de la façon suivante :

— Sous la « stone line », le matériel est évolué en place à partir de la roche sous-jacente. La régularité de la disposition des sables grossiers, la permanence d'îlots à structure conservée, la présence locale de filons obliques, surmicacés ou pegmatitiques, se prolongeant haut dans le profil, témoignant de cette autochtonie.

— La « stone line » et le matériel sus-jacent sont probablement issus de l'inselberg par transport mécanique.

Ce polyphasage du matériau originel est signalé dans la nomenclature des horizons par l'adjonction aux symboles qui les représentent du chiffre I pour la phase supérieure et II pour la phase inférieure.

Toutefois, la superposition d'un matériel colluvial sur une altérite autochtone n'introduit pas de discontinuité nette dans la différenciation des horizons, si ce n'est celle ayant trait d'une part au degré d'altération des lithoreliques, d'autre part à l'organisation du squelette sableux grossier par rapport au matériau argileux rouge, qui reflète ou non celle de la roche mère selon l'absence ou l'existence de remaniements mécaniques.

Le caractère morphologique ferrallitique du profil se dégage principalement de l'association des caractères suivants :

— teinte très rouge et homogène (horizon réticulé excepté)

— structure polyédrique fine. Celle-ci n'est cependant tout à fait caractéristique que dans le I B.

— porosité fine et forte

— passage rapide du sol à la roche dure (habituellement observé dans les sols ferrallitiques sur roche basique).

L'analyse micromorphologique montre une étroite imbrication des effets de l'altération, des migrations d'argile et des actions mécaniques dans la formation des organisations plasmiques. De la base vers le sommet du profil on observe les faits suivants.

Dans la roche dure sous-jacente au profil, les feldspaths sont parcourus de très nombreux canalicules ramifiés à terminaison en doigt de gant (Pl. XII photos 45 et 46). Larges de 5 à 6 μ, ces canalicules sont comblés ou bordés d'une substance parfaitement isotrope de couleur jaune très pâle (gel). Dans les plagioclases, leur tracé est indépendant du plan des macles qu'il recoupe. D'autres vides, plus larges (40 à 200 μ) traversent indifféremment tous les minéraux et semblent épouser un réseau de fractures. Ils sont bordés ou localement comblés d'argilanes jaune rouge bien orientés. La biotite est légèrement altérée tandis que la hornblende reste à peu près saine.

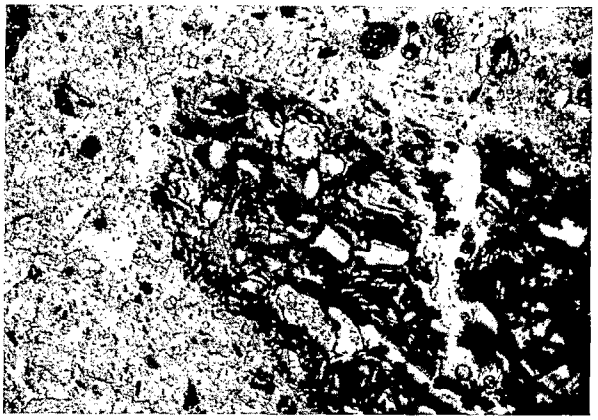
Le cortex brun (Pl. XII photos 47 et 48) est nettement plus altéré. L'altération canaliculaire, dont la trace persiste, est relayée par une altéro-plasmation qui ne laisse le plus souvent subsister que des îlots de feldspath sain isolés dans un plasma asépique. Les quartz sont traversés de canaux nettement plus larges que ceux résultant des fractures observées dans la roche mère, à parois plus irrégulières et non parallèles, ce qui suggère une dissolution. Les biotites sont altérées et se chargent de fer. De très nombreux canaux parcourent le fond

PL. XIII

GARANGO II : LE SOL FERRALLITIQUE AMONT (G 1)

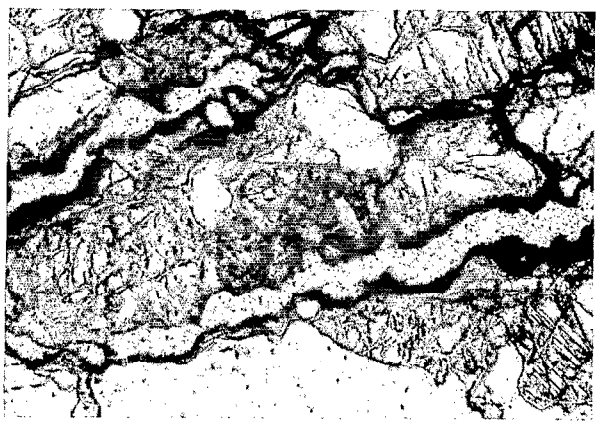


49. L.N.

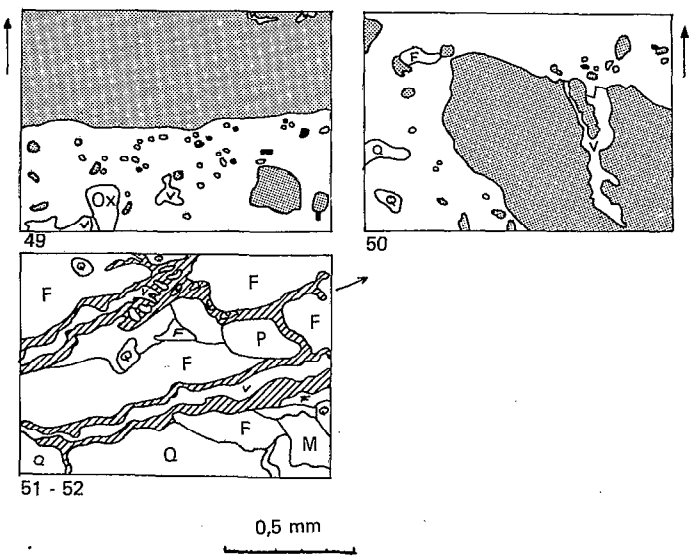


50. L.N.

Horizon réticulé : fond matriciel à structure altéro-illuviale rouge et fond matriciel pédoturbé décoloré.



51. L.N. — Organisation microscopique des ilôts arénacés situés dans l'horizon IB rouge du sol ferrallitique amont.





52. L.P. — Même vue que 51.

structure altéro-illuviale et les fragments qui en sont issus

argilo-ferranes

V : vide F : orthose P : plagioclase Q : quartz Ox : oxydes

matriciel ; ils sont bordés d'argilanes rouges, bien orientés, qui représentent une fraction importante du plasma.

L'horizon réticulé présente deux sortes de fonds matriciels très nettement distincts (Pl. XIII photos 49 et 50) :

— L'un est très voisin de celui du cortex brun mais son plasma est plus fortement ferruginisé (de rouge à opaque). Il correspond macroscopiquement au réseau rouge.

— L'autre comporte un plasma jaune pâle en lumière normale, asépique en lumière polarisée, parsemé de petits débris d'argile ferruginisée rouge (papules), de fragments de biotite. Le squelette fin est abondant, dispersé dans le plasma. Ce fond matriciel, qui correspond macroscopiquement aux zones beiges, recoupe les structures du précédent dont certains fragments détachés peuvent être raccordés aux structures encore intactes voisines. Les vides sont plus nombreux que dans le premier type de fond matriciel, mais le plasma reste abondant ; les argilanes sont absents, l'assemblage est porphyrosquelique.

L'horizon rouge (II B) est à assemblage porphyrosquelique. Le squelette grossier est constitué de quartz fortement fissuré et de feldspath K peu abondant. Les plagioclases, encore présents à la base, disparaissent vers 1,5 m. A la base de l'horizon, dans de petites zones de 1 à 5 mm, qui constituent au total à peu près la moitié de la surface des lames minces, il est possible de retrouver l'organisation initiale de la roche grâce à l'extinction commune des résidus de chaque cristal primaire. Ces zones ont un plasma vivement coloré en rouge et sont riches en argilo-ferranes ; elles passent, de façon plus ou moins diffuse, à un fond matriciel à squelette fin dispersé dans un plasma jaune rouge asépique, à nombreuses granulations rouges le plus souvent constituées de papules d'argile ferruginisée orientée, pratiquement dépourvu d'argilanes à la base de l'horizon, tandis que de fins argilo-ferranes rouges bordent les vides à son sommet. Les zones à structure conservée diminuent progressivement vers le sommet de l'horizon, au profit du fond matriciel à squelette fin dispersé. Les îlots arénacés, observés macroscopiquement presque jusqu'au contact de la « stone line », présentent un aspect intermédiaire entre la roche dure et le cortex d'altération : feldspaths fortement taraudés de canalicules, altéro-plasma, réseau de canaux bordés d'argilo-ferranes (Pl. XIII photos 51 et 52).

Au-dessus de la « stone line » (horizon I B), l'assemblage du fond matriciel devient agglomératoplasmique. Les vides ont une forme mamelonnée et délimitent de petits agrégats (micro-peds) à forme subsphérique de l'ordre de 0,5 mm. Le squelette fin est dispersé au sein d'un plasma uniformément rouge peu biréfringeant, asépique. Les vides sont bordés de fins argilanes rouges, bien orientés, qui regroupent une fraction assez importante du plasma. Des plagioclases réapparaissent ainsi que quelques cristaux de biotite et d'amphibole. Dans l'horizon humifère (IA_1), l'organisation du fond matriciel est identique, mais le plasma est parsemé de granules bruns, isotropes, de matière organique.

Dans ces profils de la zone ferrallitique amont de Garango II, l'altération de la roche mère est très différente de celles que nous avons observées jusqu'ici. Elle est par contre très voisine de celle décrite par DELVIGNE (1965), en milieu et bas de versant, en Côte-d'Ivoire forestière. Mais la séquence feldspath→gel→gibbsite (+ kaolinite) est ici incomplète. Si les premiers stades sont identiques, la cristallisation du gel en gibbsite ne se réalise pas, ou, du moins, pas de façon perceptible, ni au microscope optique, ni aux rayons X. L'élargissement des canalicules dans le cortex d'altération aboutit directement à la formation d'un plasma argileux kaolinique. Cette analogie partielle du mode d'attaque des feldspaths avec celui observé en zone tropicale humide, s'ajoute aux faits macroscopiques énumérés précédemment pour confirmer le caractère ferrallitique du profil. Mais la ferrallitisation n'est pas poussée jusqu'au terme gibbsitique, probablement parce que la lixiviation de la silice est insuffisante.

La phase d'altéroplasmation est elle-même relativement brève. En effet, le développement rapide des argilanes, qui envahissent les espaces intercristallins, montre que le plasma argileux néoformé est facilement mobilisé et se charge de fer. On notera qu'il n'est plus possible de mettre en relation étroite le plasma ainsi réorganisé et le milieu d'altération environnant, comme nous l'avons fait à Diébiga (profil D1). En effet, dans la roche dure, les canaux les plus

larges sont bordés ou même comblés d'argilanes rouges, alors que les feldspaths ne fournissent que des gels et que les minéraux ferromagnésiens sont intacts ou peu altérés. Plus haut, dans le cortex brun, les minéraux ferromagnésiens sont certes plus altérés mais ils sont insuffisamment abondants pour être à l'origine de tout le fer qui imprègne fortement le plasma. Il y a donc importation de fer, probablement associé à l'argile, issu des horizons supérieurs. Cette importation se fait par le biais des voies ouvertes par l'altération (canalicules et canaux) et ***ne perturbe absolument pas l'ordonnancement des cristaux primaires résiduels.*** Elle aboutit à une organisation cutanique complexe qui enrobe le squelette.

Cette organisation est à son tour vigoureusement attaquée par des actions mécaniques qui fracturent les cutanes et dispersent les fragments de cristaux primaires. Cette transformation est très brutale et accentuée dans l'horizon réticulé où elle s'accompagne d'une forte décoloration du plasma. Elle prend l'aspect d'un microremaniement « en vrac » du fond matriciel ***sans qu'il y ait appauvrissement notable en plasma.*** Elle ne peut être attribuée qu'à l'action de l'eau qui percole à travers le profil. En effet, on peut exclure l'activité biologique comme facteur de pédoturbation, d'une part parce qu'à cette profondeur (2,5 à 3,5 m) on ne décèle ni trace de racine, ni présence de macrofaune, d'autre part et surtout parce que si l'activité biologique peut, par son action mécanique, recouper au hasard des structures pédologiques préexistante, elle ne peut déterminer la discordance systématique d'une structure sur une autre, que nous observons ici.

L'absence d'argilanes dans le fond matriciel pédoturbé traduit la faible dispersabilité du plasma remanié.

Au-dessus de l'horizon réticulé, dans l'horizon II B, on observe un remaniement analogue, mais celui-ci est beaucoup plus progressif et ne s'accompagne pas d'une décoloration importante du plasma. Toutefois, la formation de nouveaux argilanes semble s'effectuer difficilement et ceux-ci ne réapparaissent de façon notable que dans le niveau colluvial supérieur (horizon I B).

En résumé, dans la zone ferrallitique amont (profil $G_{II}1$ et $G_{II}2$), trois stades successifs de différenciation du fond matriciel apparaissent distinctement à l'examen des lames minces :

1. Un stade où domine l'altération (altération canaliculaire). Il se localise dans la roche dure.

2. Un stade où l'altération (altéroplasmation) et l'illuviation se combinent sans qu'il y ait réorganisation du squelette résiduel qui ne subit aucun déplacement. On appellera la structure correspondante « ***structure altéro-illuviale*** »[1].

3. Un stade de pédoturbation qui réorganise squelette et plasma. Cette pédoturbation est, sinon maximum, du moins plus active à la base du profil.

Ces trois étapes ne signifient pas nécessairement trois évolutions successives du profil répondant à des modifications des facteurs externes. Par contre, elles correspondent de façon évidente à des comportements vis-à-vis de l'eau différents. Lors de la première phase, la persistance de résidus d'altération amorphes qui remplissent presque complètement les canalicules, suggère que les exportations se font exclusivement sous forme soluble ; aucun déplacement de matière solide n'est décelable au niveau des cristaux en cours d'altération. Lors du second stade l'existence d'abondants argilo-ferranes, qui revêtent les parois des pores quelle que soit leur nature (plasma, feldspath ou quartz), implique la mise en suspension de l'argile associée au fer qui les constitue, son transport, puis son dépôt. Mais l'absence totale de déplacement du squelette résiduel implique que ce transport s'effectue de façon très ménagée. Lors du troisième stade interviennent de nouveaux mécanismes qui provoquent la destruction brutale des structures antérieures. La nature physique de ces mécanismes est attestée par l'arrachement de fragments complexes du fond matriciel altéro-illuvial. Leur origine exacte, si elle doit être recherchée dans l'action de l'eau, ne peut être précisée actuellement faute de

1. Ce terme a à peu près la même signification que la locution « Illuvial argillized horizon » employée par Rode *et al.* (1969).

connaître la dynamique de l'eau dans des organisations aussi complexes que la structure altéro-illuviale ou même le fond matriciel pédoturbé.

La formation de l'horizon réticulé, situé à la base du profil nécessite, en plus, un engorgement temporaire, qui entraîne la décoloration du fond matriciel pédoturbé.

Enfin, il faut souligner que les mécanismes aboutissant au troisième stade restent des mécanismes de pédoturbation car ils ne s'accompagnent pas d'un entraînement perceptible du plasma. Malgré des analogies certaines, telles que la destruction des structures pédologiques antérieures, ils sont à distinguer nettement du lessivage agressif que l'on a mis en évidence à Diébiga et qui apparaîtra plus en aval à Garango II ; mais il est probable qu'ils en préparent et en facilitent l'action.

2. Le passage aux sols ferrugineux

Le passage latéral des sols ferrallitiques aux sols ferrugineux est progressif et les transformations morphologiques qui l'accompagnent n'affectent pas simultanément tous les horizons. Le tableau XI résume les modifications observées d'un profil à l'autre en allant de l'amont ($G_{II}1$) vers l'aval ($G_{II}7$). Il néglige l'horizon réticulé qui, jusqu'à ce qu'il soit envahi par l'horizon lessivé A'_2, ne présente pas de variation significative autre que son épaississement vers l'aval. Dans ce qui suit et sur le tableau XI, le symbole A_1 concernera aussi bien le IA_1 de l'amont que le A_1 situé à l'aval de l'affleurement de la « stone line ». De même, le symbole B regroupe synthétiquement I B, II B et B. En effet, nous avons vu que la « stone line », bien qu'elle ait une signification stratigraphique, n'introduit pas de discontinuité importante dans la différenciation du profil ; en tenir compte compliquerait sans grand avantage le tableau et le texte.

Les modifications de l'amont vers l'aval concernent :

1. La couleur : la couleur de l'horizon A_1 s'éclaircit rapidement puis tend vers le brun pâle. Celle de la partie supérieure du B s'éclaircit légèrement mais conserve plus longtemps la même intensité de rouge, presque jusqu'au moment où il est envahi par l'horizon lessivé A'_2. La base du B devient par contre rapidement hétérogène. Des taches violacées s'y développent (horizon Bcn) tandis que la teinte de fond évolue vers le brun rouge, avec des domaines légèrement plus contrastés.
2. La texture : ses variations affectent surtout l'horizon A qui s'appauvrit rapidement en argile, tandis que l'horizon B conserve plus longtemps des teneurs en argile élevées.
3. La structure, qui devient massive en surface, en même temps que la texture s'allège, et qui reste fragmentaire, mais tend à s'élargir, dans l'horizon B.

En lame mince, on constate, de l'amont vers l'aval, les modifications suivantes :

Dans l'horizon A1 l'assemblage, initialement agglomeroplasmique, devient intertextique et même localement granulaire. Simultanément, le plasma se décolore, les débris organiques deviennent, sinon plus abondants, du moins plus visibles. La porosité augmente, les argilanes disparaissent.

L'horizon B ne subit pratiquement pas de modification. Son léger éclaircissement aval est imperceptible en lame mince. L'assemblage (agglomeroplasmique) et l'organisation du plasma (asépique) reste inchangé. Tout au plus semble-t-il que les fins argilanes bordant les pores mamelonnés sont moins abondants qu'à l'amont, mais ceci nécessiterait un plus grand nombre d'observations intermédiaires que celui dont nous disposons pour être confirmé. Quoi qu'il en soit, l'appauvrissement de l'horizon superficiel en plasma ne s'accompagne pas d'une augmentation des structures illuviales dans le B sous-jacent, et le mécanisme de cet appauvrissement reste à déterminer.

Dans l'horizon Bcn, on distingue :

1. Des domaines de fond matriciel altéro-illuvial peu abondants à plasma (d'altération) assez fortement ferruginisé rouge à brun, parcourus de ferranes bruns à opaques.

Tableau XI.

Le passage des sols ferrallitiques aux sols ferrugineux à Garango II.

	$G_{II}1$	$G_{II}2$	$G_{II}3$	$G_{II}4$	$G_{II}7$
A_1	Rouge-brun foncé 5YR 4/3,5 Sablo-argileux polyédrique 1-2 cm	Rouge-brun clair 5YR 4/6 Sablo-argileux massif à débit mamelonné	Rouge-brun clair 5YR 4,5/6 Sableux massif à débit mamelonné	Brun-rouge clair 7,5YR 5/4 Sableux massif à débit peu mamelonné	Brun-rouge clair 7,5YR 5/5 Sableux massif à débit peu mamelonné
B	Rouge 2,5YR 3,5/6 Argilo-sableux ↓ Sablo-Argileux polyédrique 0,5 cm	B Rouge 2,5YR 4,5/8 Argilo-sableux polyédrique 1-2 cm	B Rouge 2,5YR 4/6 Argilo-sableux polyédrique 2-3 cm	B Rouge 2,5YR 4/6 Argilo-sableux polyédrique 2-3 cm	B Rouge-brun clair 5YR 5/6 Sablo-argileux polyédrique 2-3 cm
B_{cn}		B_{cn} Rouge-brun clair 5YR 4/8 taches : 10R 4/6 Sablo-argileux polyédrique 0,5-1 cm	B_{cn} Rouge-brun clair 5YR 5/6 taches : 10R 4/6 Sablo-argileux polyédrique 1- 2cm	B_{cn} Brun clair 10YR 5/5 taches : 2,5YR 3/6 Sablo-argileux polyédrique 1-2 cm	A'_2 Beige clair 10YR 7/3 taches : 2,5YR 4/6

2. Des domaines à fond matriciel pédoturbé à squelette fin dispersé, à plasma asépique rouge parcouru d'argilo-ferranes et de ferranes. Certaines parties du plasma de ce fond matriciel sont fortement ferruginisées ; leur limite avec le plasma rouge est diffuse.

3. Des domaines identiques aux précédents mais à plasma jaune rouge clair et argilanes de même teinte.

Le passage des domaines de type 2 à ceux de type 3 est rapide mais continu. Il correspond uniquement à un changement de couleur sans modification de l'organisation du squelette ou du plasma. Ces caractères microscopiques sont très voisins de ceux observés dans l'horizon B à taches du profil D4 de Diébiga. Ils reflètent la même mobilité du fer, dont on constate une redistribution au sein du plasma argileux du fond matriciel ou des cutanes, sans que l'organisation de ce plasma en soit modifié. Cette redistribution prend l'aspect d'une diffusion, sans que l'on en ait pour autant pénétré le mécanisme.

En résumé, le passage des sols ferrallitiques aux sols ferrugineux s'effectue par des transformations qui affectent à la fois le sommet et la base du profil : éclaircissement et appauvrissement en argile de l'horizon supérieur, décoloration de la base du B avec apparition de ségrégations ferrugineuses, tandis que le sommet du B conserve plus longtemps ses caractères ferrallitiques. Les ségrégations ferrugineuses correspondent d'une part à des reliques de structure altéro-illuviale dont le plasma argilo-ferrugineux semble plus stable que celui du fond matriciel pédoturbé, d'autre part à des concentrations localisées d'oxyde de fer au sein du plasma pédoturbé.

Ce type de passage est différent de celui observé par CHAUVEL (1966) et FAUCK (1971) entre les sols rouges et les sols beiges de Casamance où la transformation s'effectue à partir du sommet du profil. De même, en Côte-d'Ivoire, dans la région de Bouna par exemple, les sols ferrallitiques passent aux sols ferrugineux par une différenciation qui est d'abord superficielle (observations effectuées en 1969 sous la conduite de A. PERRAUD). Les faits décrits à Garango II sont propres au type de paysage correspondant et ne peuvent être généralisés à toutes les transitions entre sols ferrallitiques et sols ferrugineux qui se succèdent sur nombre de modelés en région tropicale sub-humide.

3. L'horizon lessivé A'_2

L'horizon lessivé A'_2 apparaît à la partie inférieure du profil $G_{II}3$ où l'on a pu saisir sa naissance (fig. 27). Il se distingue de l'horizon réticulé, à la base duquel il se développe, à la fois par une décoloration plus accentuée (10YR 7/3 contre 10YR 7/6) et surtout par une porosité nettement plus forte des zones englobées par le réseau rouge. Vers l'aval de la fosse, certaines de ces zones sont vidées de la quasi-totalité de leur substance et il ne reste qu'un dépôt de sable blanchi sur leur plancher. Le réseau rouge lui-même paraît peu touché et passe d'un horizon à l'autre (du Bg au A'_2) sans modification appréciable. Cet état se maintient jusqu'en $G_{II}6$ où l'horizon lessivé a atteint le sommet de l'horizon réticulé. Toutefois, la partie inférieure du réseau rouge, bien que conservant la même organisation macroscopique, s'indure progressivement et atteint le stade carapace vers la base de $G_{II}7$.

Après le profil $G_{II}6$, l'horizon lessivé gagne vers le haut sur l'horizon B à taches ferrugineuses. Cet horizon s'éclaircit, devient très poreux, les pores les plus grossiers (1-2 mm) étant tapissés de sables fins blancs, acquiert un réseau de fentes verticales qui délimitent des prismes irréguliers de 10 à 20 cm de diamètre, dont les parois sont bordées d'un mince liséré (2-3 mm) sableux et blanchi. Ces fentes se prolongent presque jusqu'en surface après s'être regroupées (cf. fig. 28). Dans la partie lessivée, les taches ferrugineuses initiales se maintiennent sans modification apparente. Au niveau du profil $G_{II}8$, l'horizon lessivé a atteint la surface. Légèrement humifère à son sommet (A_1), il est ensuite beige très clair (10YR 6/3), homogène jusqu'à 100 cm. Les taches rouges, qui existaient à la même profondeur dans le profil précédent ont disparu. On les retrouve cependant dans le niveau prismatique sous-jacent dont la limite supérieure plonge vers l'aval jusqu'à rencontrer le premier horizon B en langue. Au-delà,

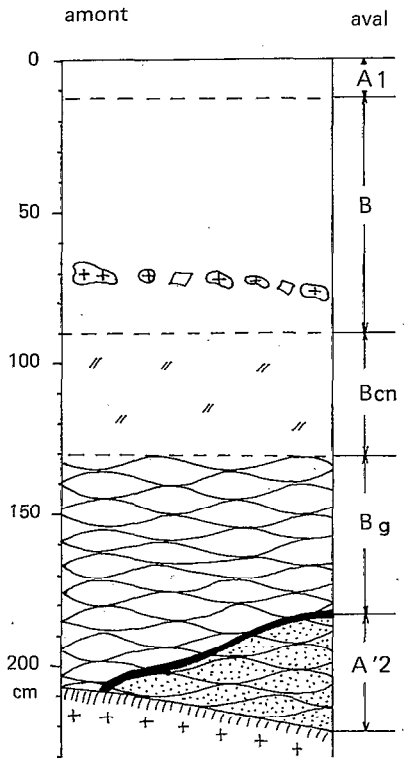


FIG. 27. — Profil $G_{II}3$.

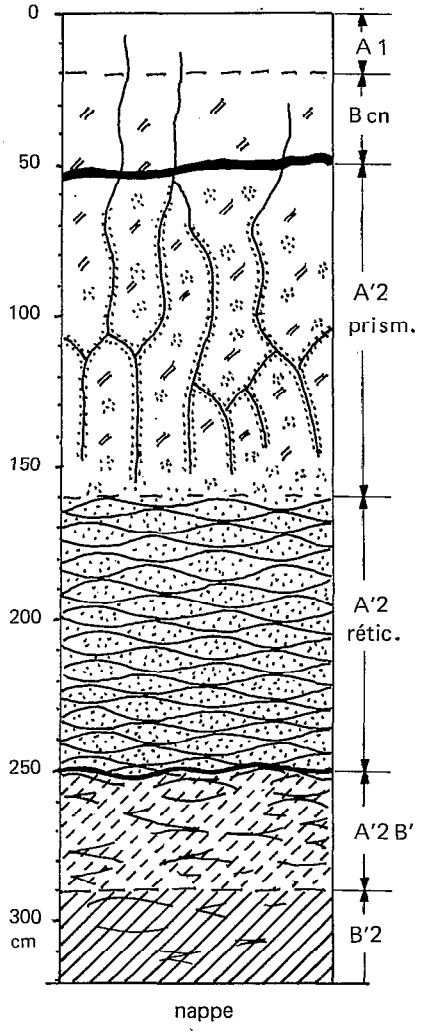


FIG. 28. — Profil $G_{II}7$.

l'horizon lessivé garde un aspect constant, beige clair, très sableux, massif, poreux. Son épaisseur varie cependant car il épouse les ressauts des horizons B en langue qui se succèdent vers l'aval.

L'analyse micromorphologique met en évidence les faits suivants :

— ***Le fond matriciel*** des zones lessivées (Pl. XIV photo 53) présente un assemblage intertextique à granulaire. Les grains grossiers sont isolés au sein d'un empilement de squelette fin laissant ouverts de larges vides. Le plasma, peu abondant, comble incomplètement les interstices du squelette fin. Les grains grossiers sont surmontés de coiffes associant squelette fin et plasma argilo-organique. Ces coiffes sont cependant absentes des 50 cm supérieurs de l'horizon A'_2 lorsque celui-ci atteint la surface ; de ce fait, elles disparaissent à l'aval du profil $G_{II}13$. A la base des mêmes grains grossiers, se situent fréquemment des vides aplatis (vides sous-laminaires — BOCQUIER, 1971) à plancher tapissé d'argilanes.

— ***Des argilanes*** sont présents ***(mais peu abondants)*** dans tout l'horizon lessivé, sauf en surface. Ils sont très bien orientés, d'épaisseur et de teinte variable. On distingue ainsi :

- Des argilanes jaune pâle, souvent régulièrement stratifiés. Ce sont les plus fréquents et les plus épais.

– Des argilanes rouges qui semblent se situer de préférence au voisinage des pédoreliques de structure altéro-illuviale (voir § suivant) ce qui suggère qu'ils en dérivent directement.

Ces deux types d'argilane sont rarement interstratifiés. Quand ils le sont, il n'est pas possible d'établir de loi chronologique de dépôt, les superpositions étant quelconques.

La fréquence des argilanes varie verticalement et latéralement. A l'amont du profil $G_{II}7$, elle est faible mais augmente légèrement vers la base de l'horizon lessivé. A partir de ce profil, elle s'accroît à la base de l'horizon lessivé prismatique suffisamment pour qu'on y reconnaisse un A_2B (cet horizon A_2B est en relation avec l'horizon B''_2) ; elle diminue plus bas pour augmenter à nouveau au contact de l'horizon illuvial sous-jacent.

— ***Le réseau rouge*** conserve l'organisation altéro-illuviale définie précédemment (p. 000). Ses structures cutaniques (ferranes) sont recoupées par le fond matriciel lessivé (Pl. XIV photo 54). Continu à l'amont, il devient discontinu à l'aval où il constitue des pédoreliques isolées. Ces pédoreliques jouent un rôle analogue au squelette et reçoivent une coiffe argilo-organique à l'égal des grains grossiers.

— ***Les taches de l'horizon Bcn*** se maintiennent également à l'état de pédoreliques dans l'horizon lessivé, mais elles disparaissent plus rapidement que le réseau rouge.

En résumé, nous retrouvons ici l'essentiel des organisations observées à Diébiga avec toutefois quelques nuances :

— A Diébiga, la répartition du squelette fin est secondaire à celle du squelette grossier, qui constitue à lui seul une charpente continue. Ceci crée une polarité dans l'arrangement du squelette qui, indépendamment des traits laminaires, permet de retrouver l'orientation de l'échantillon. Ici, le squelette grossier, peu abondant, est isolé au sein du squelette fin et seules les coiffes permettent d'orienter l'échantillon (orientation qui est bien sûr contrôlée à l'aide du repère gravé sur toutes les lames lors de leur fabrication).

— Les argilanes sont plus variés et à répartition plus différenciée à Garango II qu'à Diébiga.

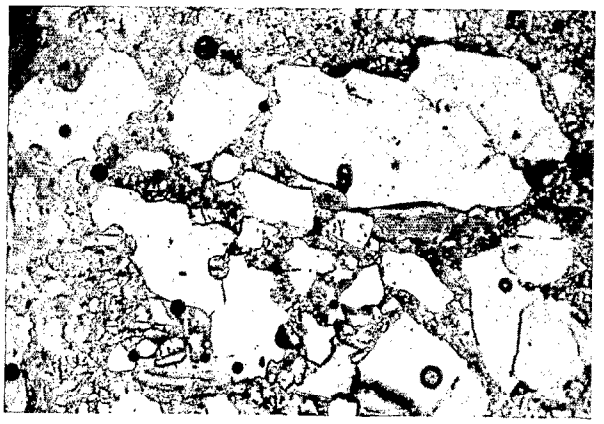
— La destruction des structures pédologiques primaires (altéro-illuviales) étant préparée par la pédoturbation qui affecte l'horizon réticulé dès son apparition, la part du lessivage profond dans cette destruction est ici plus difficile à établir. Toutefois, si cette transformation est amorcée dès l'amont, elle se poursuit activement dans l'horizon lessivé où le réseau rouge devient discontinu. Sa disparition n'est toutefois pas totale et il subsiste à l'état de pédoreliques jusqu'au contact du domaine illuvial et même bien au-delà ainsi que nous le constaterons ultérieurement. La dénomination symbolique complète d'un tel horizon devrait être BA'_2 en respectant l'ordre chronologique d'apparition des structures.

4. Le système illuvial inférieur ($A'_2B' + B'_2$)

Le système illuvial inférieur n'apparaît qu'une trentaine de mètres à l'aval du point de départ de l'horizon lessivé A'_2. Sa limite supérieure, bien qu'irrégulière dans son tracé, est nette. Elle correspond à une augmentation brutale des revêtements argileux qui deviennent bien visibles à l'œil nu, alors que dans le A'_2 sus-jacent, seul l'examen microscopique permettait de les déceler avec certitude. Ces revêtements sont de teinte brune (7,5YR 6/8) ou plus souvent gris verdâtre (2,5Y 7/2) ; certains, encore fluides par suite de l'humidité liée à la proximité de la nappe (observations effectuées au milieu de la saison sèche), donnent l'impression qu'ils viennent de se déposer sur la paroi des pores ou des fentes qu'ils revêtent. Ils recouvrent fréquemment les dépôts finement sableux, blancs, caractéristiques de l'horizon lessivé. La porosité reste toutefois assez élevée sur 20 cm à l'amont, sur plus d'un mètre à l'aval. Cette partie encore poreuse, qui constitue le A'_2B', est parcourue d'un réseau discontinu rouge à centre ocre, légèrement induré, qui prolonge le réseau rouge observé dans le A'_2 et isole des plages gris verdâtre clair où se localisent principalement les revêtements argileux. Au-dessous (B'_2)

PL. XIV

GARANGO II : HORIZONS A'_2 ET A'_2B' (amont)



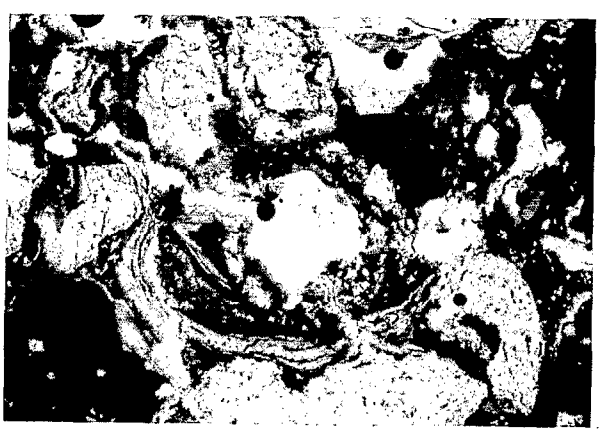
53. L.N. — Horizon lessivé A'_2.



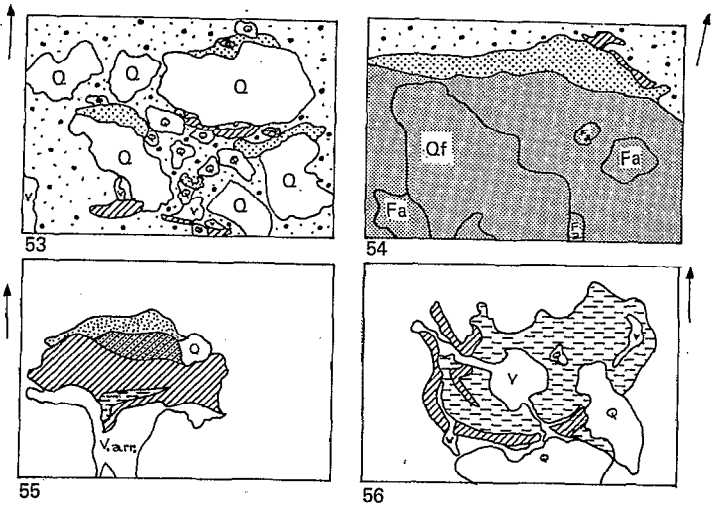
54. L.N. — Horizon lessivé A'_2. Contact entre structure altéro-illuviale et fond matriciel lessivé.



55. L.N. — Horizon A'_2B'. Partie amont. Alternance d'argilanes et de dépôts de squelette fin mêlé ou non à du plasma.



56. L.N. — Horizon A'_2B'. Partie amont. Alternance d'argilanes et de dépôts de squelette fin mêlé de plasma.



Échelle : 53, 54, 56 — 0,5 mm
55 — 1 mm

structure altéro-illuviale

fond matriciel lessivé — coiffe.

dépôt de squelette fin — argilane

// // // et de plasma

interstratification de squelette fin et d' argilanes

V : vide V. arr. : vide d'arrachement (artefact) Q : quartz

Qf : quartz ferruginisé Fa : feldspath altéré et ferruginisé

la compacité s'accroît par multiplication des films argileux, tandis que le réseau coloré, toujours plus cohérent, devient ocre à taches brun noirâtre.

En lame mince, on observe ***dans le A'$_2$B' :***

1. *Du fond matriciel lessivé avec tous ses caractères précédemment décrits.* Mais les vides sont bordés et parfois complètement comblés par d'épais argilanes atteignant 2 mm d'épaisseur, de teinte jaune à brun rouge, souvent complexes. Ces argilanes alternent fréquemment avec des dépôts de squelette fin ou squelettanes (Pl. XIV photos 55 et 56). Ceci démontre qu'il y a illuviation de squelette. Cette illuviation s'effectue par le biais des pores les plus grossiers ; elle reste assez discrète.

2. Des îlots résiduels de structure altéro-illuviale ferruginisée.

Les deux types de fond matriciel constituent des domaines juxtaposés, le premier recoupant les structures cutaniques du second. Cet horizon associant des caractères de A_2 et de Bt constitue bien un horizon A'$_2$B' et même, si l'on ne craignait une complexité excessive BA'$_2$B', les symboles étant inscrits dans l'ordre chronologique d'apparition des structures successives.

Dans le B'$_2$, l'obturation des vides par les argilanes s'accentue. Ceux-ci deviennent extrêmement abondants, rassemblent la majeure partie du plasma non ferruginisé et semblent s'intégrer difficilement au fond matriciel. L'horizon B'$_2$ comporte toujours des reliques de structure altéro-illuviale ferruginisée et l'essentiel de l'organisation éluviale ayant disparu, sa dénomination complète devrait être B B'$_2$.

Vers l'aval, lorsque ce couple d'horizons passe sous le B''$_2$, le A'$_2$B' conserve son organisation d'ensemble, mais les domaines complètement illuviés acquièrent un assemblage porphyrosquelique, tandis que leur plasma s'oriente et devient masépique (Pl. XV photos 57 et 58). Cette organisation sera à nouveau rencontrée au § 5 et étudiée plus en détail. L'horizon B'$_2$ voit son organisation se modifier profondément (Pl. XV photos 59 et 60). Son assemblage est porphyrosquelique, le plasma est squel-masépique et passe progressivement à des argilanes à extinction alternativement striée et uniforme en bordure des vides qui sont essentiellement fissuraux. Le squelette fin est dispersé dans le plasma mais sa répartition reste hétérogène. Ainsi, il est parfois aligné plus ou moins parallèlement à la bordure des vides, ou au contraire absent de certains domaines purement argileux. Cette réorganisation sera ultérieurement mise en relation avec la nature minéralogique du plasma argileux.

Les reliques de structure altéro-illuviale ferruginisée persistent parfaitement identifiables jusqu'en $G_{II}14$.

En résumé, le plasma du système illuvial inférieur (A'$_2$B' + B'$_2$), est à l'amont essentiellement sous forme d'argilanes. Ces argilanes tapissent les vides de l'assemblage agglomérosquelique caractéristique des horizons lessivés. Ceci montre clairement que l'illuviation succède au lessivage. Il y a alors apparition d'une ***structure illuviale*** au sein d'une ancienne structure éluviale.

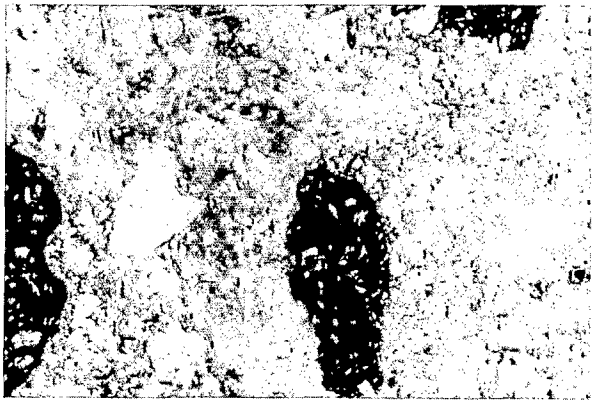
Vers l'aval, le développement du fond matriciel à plasma masépique passant de façon diffuse à des argilanes striés, discontinus, est vraisemblablement lié à la dynamique interne de l'horizon qui réorganise l'argile illuviée. Il s'agit alors de ***structures de transformation*** (Bocquier, 1971).

Ces deux types de structure sont plus nettement dissociés dans l'espace à Garango II qu'à Diébiga, mais présentent des aspects microscopiques tout à fait analogues.

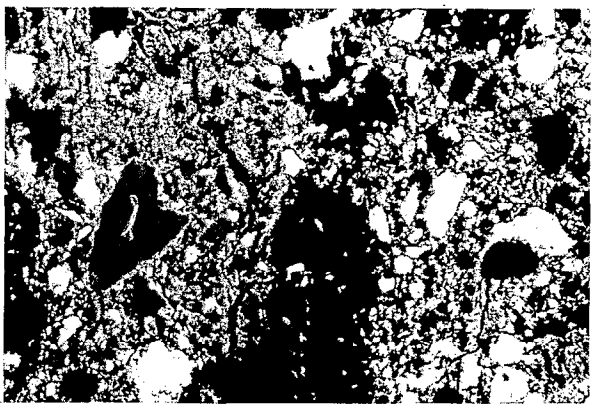
La persistance de reliques de structure altéro-illuviale ferruginisée nous permet de remonter plus loin dans l'histoire de la séquence et d'affirmer que ces profils lessivés et illuviés ont connu, sur toute leur épaisseur, une pédogenèse de type ferrugineux tropical analogue à celle qui existe encore à l'amont.

PL. XV

GARANGO II : HORIZONS A'_2B' (aval) et B'_2

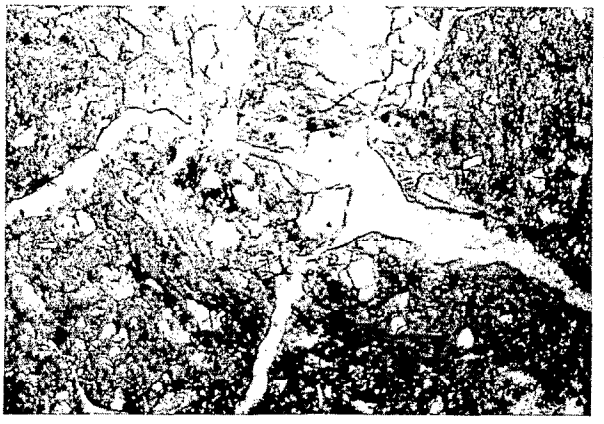


57. L.N.

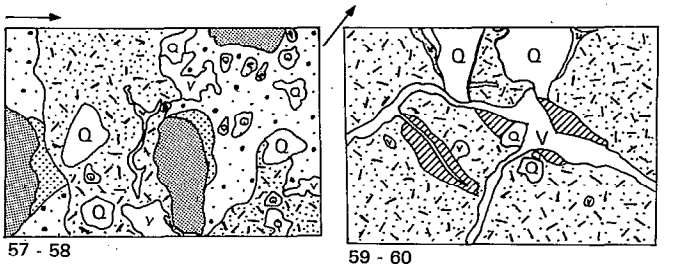


58. L.P.

Horizon A'_2B'. Partie aval ($G_{11}13$). Reliques de structure altéro-illuviale, fond matriciel lessivé, fond matriciel illuvié.



59. L.N. — Horizon B'_2. Fond matriciel illuvié. Squelette fin à répartition hétérogène (G_113).



57 - 58 59 - 60

Échelle : 57-58 0,5 mm

59-60 1 mm

fond matriciel lessivé

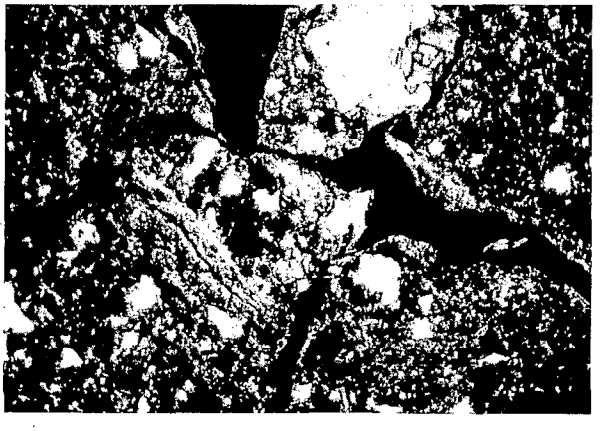
fond matriciel illuvié

coiffe

argilane

structure altéro-illuviale

V : vide Q : quartz



60. L.P. — Même vue que 59.

5. Les horizons B_2 en langue et les horizons A_2B intercalés (B''_2 à B''''_2)

Ces horizons sont au nombre de trois et apparaissent successivement à 120, 150 et 300 m du knick.

Le *premier* (B''_2) est le plus épais, il atteint 1,5 m en $G_{II}13$. Sa limite supérieure est tranchée, planique, jusqu'à l'apparition du B'''_2 ; au-delà, elle est plus diffuse. Sa limite inférieure est un peu moins nette à l'amont, s'étalant sur 5 cm ; elle est encore un peu plus diffuse à l'aval. Sa teinte est très hétérogène (pseudogley) : sur un fond gris verdâtre se dessine un réseau rouge (2,5YR 4/8) au sommet et sur 30 cm, puis ocre (7,5YR 5/6) à taches noires. Ce réseau ne présente aucune induration et se distingue de ceux que l'on a décrits précédemment par ses limites diffuses et l'absence de différence entre son organisation macroscopique et celle des zones grises qu'il englobe. Au séchage, l'horizon se fend, il est parcouru de fentes polygonales atteignant 1/2 cm de large et qui délimitent de gros polyèdres (10 à 15 cm). Ces volumes se réduisent en polyèdres plus petits (2-3 cm) en assemblage compact. La porosité tubulaire est faible.

Le second horizon B_2 en langue (B'''_2) est nettement plus mince, ne dépassant pas 50 cm. Sur $G_{II}13$, il se présente sous la forme d'un horizon à structure columnaire (cf. fig. 26) dont les coupoles, larges de 15 à 20 cm, soulignées par une fissure, sont coiffées d'un liséré (1 à 5 mm) de sables fins blancs. L'horizon est bariolé de gris clair (10YR 6,5/2), d'ocre (10YR 5,5/8), avec des taches brun rouge (7,5YR 5/7) à cœur rouge (10R 4/6). Les prismes se débitent obliquement avec des faces de rupture légèrement lissées. Vers l'aval, le sommet de cet horizon s'enfonce progressivement tandis qu'il change d'aspect. Il devient moins hétérogène, gris verdâtre (2,5Y 6/2,5) à taches rouges (10R 4/8) ; il perd sa structure columnaire qui se transforme en structure prismatique irrégulière à sommet anguleux, à parois bordées de sables blancs sur 1 à 3 mm. De nombreux films argileux sont visibles dans la masse et sur les parois des rares pores tubulaires. La limite supérieure forme une ligne brisée, elle est brutale. A la base, la transition avec l'horizon plus poreux sous-jacent (A''_2B'') est assez progressive (5 à 6 cm).

Le troisième horizon B_2 en langue (B''''_2) est semblable au précédent, bien que d'extension latérale beaucoup plus faible. Il confère en particulier au sol en $G_{II}17$ un profil de solonetz à structure columnaire.

Les horizons plus poreux intermédiaires (horizon A_2B) sont de teinte brun jaune clair (10YR 7/4) à taches légèrement indurées rouges (5YR 5/8), à pellicules de sable fin blanc sur les faces structurales. La structure est polyédrique 2-3 cm, en assemblage compact et cohésion moyenne à forte. La porosité tubulaire est assez bien développée avec toutefois des zones colmatées brun jaune (7,5YR 6/6). Ces horizons précèdent latéralement les horizons B_2 qui les surmontent par des avancées à structure prismatique, à prismes revêtus d'épais lisérés de sables blancs, d'aspect général voisin des parties aval des horizons B'''_2 et B''''_2 mais beaucoup plus poreux.

En lame mince, ces horizons sont constitués de quatre sortes de fond matriciel, l'un ou l'autre pouvant être absent selon le cas.

1. Fond matriciel jaune clair en lumière normale, vosquel-masépique en lumière polarisée, à assemblage porphyrosquelique, riches en papules striées ou uniformément orientées, à squelette fin dispersé, mais à répartition hétérogène. Les vides, essentiellement fissuraux, sont bordés de zones cutaniques uniformément orientées passant latéralement à des domaines striés parallèlement à la paroi des vides (organisation identique à celle du B'_2 aval — Pl. XV photos 59 et 60).

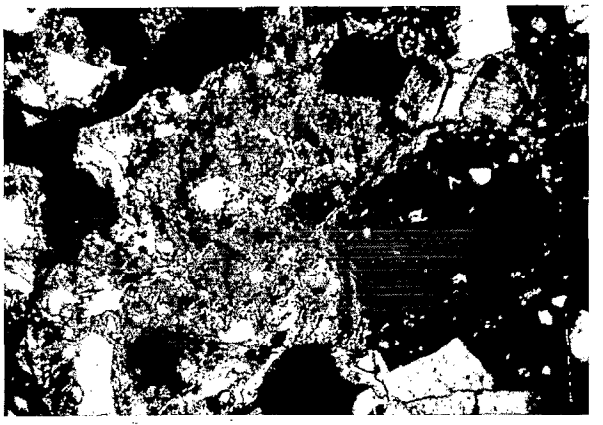
2. Fond matriciel lessivé à assemblage intertextique à granulaire avec argilanes jaunes à brun clair très bien orientés moulant certains vides d'entassement. Lorsque ces domaines sont suffisamment larges (quelques mm) pour contenir des grains grossiers isolés, ceux-ci possèdent une coiffe apicale.

3. Fond matriciel ferruginisé, pouvant être considéré comme des nodules diffus, à forme

GARANGO II : L'HORIZON B''$_2$

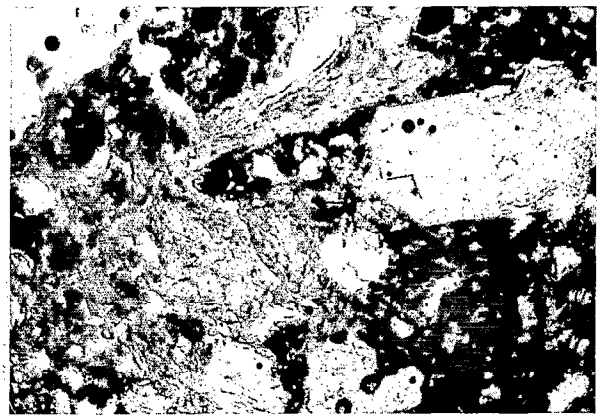


61. L.N.

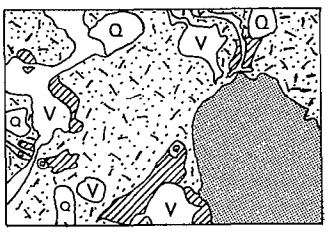


62. L.P.

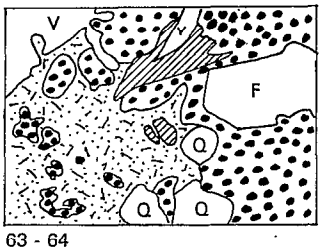
Horizon B''$_2$ (G_{11}13). Fond matriciel illuvié avec relique de structure altéro-illuviale.



63. L.N. — Horizon B''$_2$ (G_{11}12). Fond matriciel illuvié à granules ferrugineux.



61 - 62



63 - 64

0.5 mm

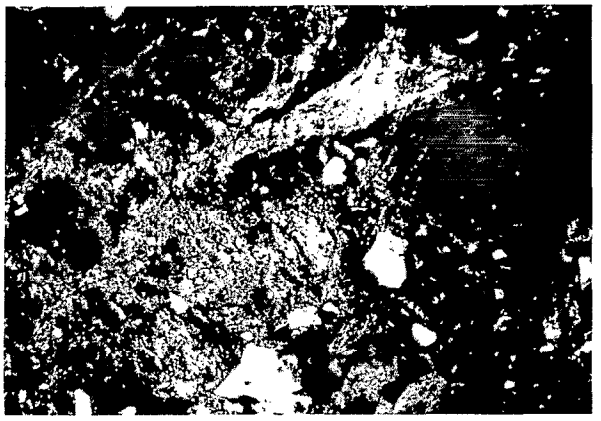
fond matriciel illuvié

granules ferrugineux

argilane ou papule

structure altéro-illuviale

Q : quartz F : feldspath V : vide



64. L.P. — Même vue que 63.

irrégulière (taches rouges des horizons B), constitués d'agglomérats de granules brun noir, presque opaques, à auréole brun rouge (Pl. XVI photos 63 et 64).

4. Fond matriciel altéro-illuvial ferruginisé (Pl. XVI photos 61 et 62).

Les fonds matriciels de type 1 et 3 dominent dans les horizons B_2, mais ils ne sont exclusifs qu'au cœur des parties amont de ces horizons soit du profil $G_{II}10$ au profil $G_{II}13$ pour le B''_2, dans le profil $G_{II}13$ pour le B'''_2 et $G_{II}17$ pour le B''''_2 (Pl. XVI photos 63 et 64).

Le sommet des B_2, leur base, ainsi que leur partie aval comportent toujours des îlots de fond matriciel lessivé, qui ne correspondent toutefois qu'à une faible proportion de la surface des lames ($\leqslant 20$ %).

Les horizons poreux intermédiaires (A_2B) sont constitués des fonds matriciels de type 1 et 2 ; le type 2 domine largement, le type 1 constitue des îlots isolés dans le précédent, le type 3 est absent (organisation analogue à celle de A'_2B' — Pl. XV photos 57 et 58).

Le fond matriciel de type 4 persiste dans la partie inférieure du B''_2 jusqu'en $G_{II}14$ (Pl. XVI photos 61 et 62) ; il est absent ailleurs.

En conclusion, la persistance de structures éluviales (fond matriciel type 2), isolées au sein des horizons B_2 ou localisées dans l'horizon sous-jacent, confirment que les horizons B en langue sont d'anciens horizons lessivés ultérieurement illuviés. Lorsque l'infiltration d'argile est suffisante pour former un plasma continu (assemblage porphyrosquelique), celui-ci acquiert une orientation masépique accentuée et les argilanes sont progressivement intégrés au fond matriciel, ces deux transformations ayant vraisemblablement lieu sous l'effet des contraintes internes qui se développent au sein de l'horizon ou, lorsque cette infiltration est incomplète, dans les seuls îlots illuviés.

Dès que les horizons B_2 sont suffisamment proches de la surface ($\leqslant 20$ cm), ils acquièrent une structure columnaire et confèrent au profil une morphologie de solonetz.

Les horizons poreux intermédiaires associent fond matriciel lessivé et fond matriciel illuvié et transformé. Ce sont des A_2B.

La présence de reliques altéro-illuviales ferruginisées permet de conclure à une évolution antérieure de type ferrugineux tropical jusqu'au niveau du profil $G_{II}14$. Mais l'absence de pédoreliques au-delà de cette limite nous laisse dans l'ignorance de la nature des sols qui faisaient suite à ces sols ferrugineux.

6. L'horizon BC et les sols de l'aval

Le système d'horizons B et A'_2B que nous venons de décrire est limité dans l'espace, aussi bien verticalement (vers le bas) que latéralement (vers l'aval). Il passe alors plus ou moins progressivement à un matériel pédologique différent. Bien que cette différence soit perceptible à l'œil nu, la limite entre ces deux types de matériel n'est pas toujours facile à établir sur le terrain. Mais l'observation des lames minces a toujours permis de lever les indéterminations, et les limites d'horizon, tracées d'après l'étude macroscopique, ont été contrôlées et parfois (rarement) modifiées grâce à l'analyse micromorphologique.

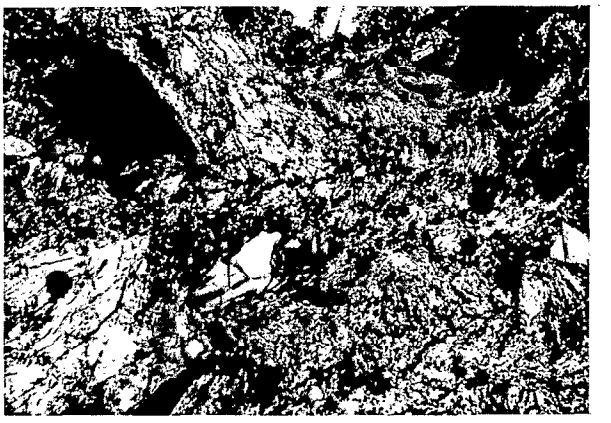
A l'amont et jusqu'en $G_{II}11$, l'horizon B inférieur (B'_2) repose directement sur une arène sableuse à structure conservée. Le contact est brutal, mais on observe des pénétrations argileuses grises dans les diaclases. Au-delà de cette limite, le B'_2 passe à un horizon argileux d'aspect voisin (réseau ocre — 7,5YR 5/8 — sur fond gris verdâtre — 2,5Y 6/2) — mais où les minéraux altérables sont nettement plus abondants. Ce sont en particulier des feldspaths plus ou moins friables dont la fréquence augmente vers le bas et de petites taches polygonales ocres à cœur noir et brillant où l'on reconnaît à la loupe des biotites. Les revêtements argileux gris, abondants et bien identifiables dans le B'_2 sus-jacent, sont rares, localisés au sommet de l'horizon et exclusivement sur les parois des fentes structurales ou de gros pores. La structure est à tendance prismatique, l'assemblage compact. En $G_{II}12$, on observe encore le passage progressif à une arène sableuse. Au-delà, la nappe hydrostatique permanente baigne la base de l'horizon et ne permet pas d'atteindre l'arène.

PL. XVII

GARANGO II : L'HORIZON BC

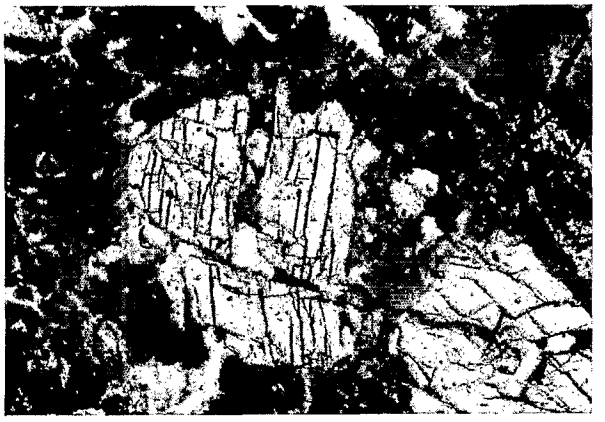


65. L.N.



66. L.P.

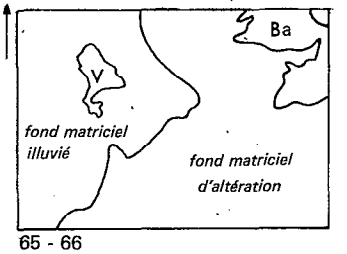
Horizon BC (sommet, au contact du B'_2). Fond matriciel illuvié et fond matriciel d'altération ($G_{11}19$).



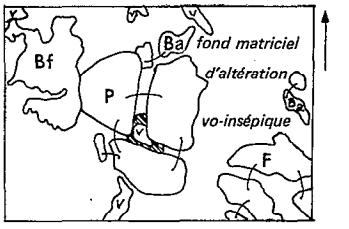
67. L.N. — Horizon BC (milieu). Fond matriciel d'altération ($G_{11}19$).



68. L.P. — Même vue que 67.



65 - 66



67 - 68

0.5 mm

argilane

V : vide
Ba : biotite altérée
Bf : biotite ferruginisée
F : orthose
P : plagioclase

Vers l'aval, le sommet de cet horizon remonte dans le profil tandis que disparaissent successivement les horizons A_2B qui matérialisent la base des horizons B en langue. En $G_{II}20$, on observe un profil analogue à celui du sol de transition brun eutrophe-vertisol (G_{I_2}) de la toposéquence de Garango I.

L'analyse micromorphologique révèle les organisations suivantes :

Le matériau arénacé de l'amont conserve, parfaitement intacte, la structure de la roche mère. L'altération y est peu avancée ; les feldspaths et amphiboles sont sains, la biotite est légèrement altérée (expurgation de fer, bordure des lamelles éclaircies en lumière normale). Un réseau de canaux assez dense parcourt cette arène. Les canaux les plus étroits ($\leqslant 50\mu$) sont vides ; par leur tracé anguleux, indifférent à la nature des cristaux qu'ils traversent et leurs bords parallèles, ils évoquent plus un réseau de fractures que le résultat de l'altération. Les canaux plus larges peuvent atteindre 0,5 mm. Leurs parois ne sont pas parallèles et sont irrégulières. Ils résultent vraisemblablement d'un élargissement des précédents par dissolution. Ils sont bordés d'argilanes jaunes bien orientés.

Il est important de souligner la disparition de l'altération en canalicules ramifiés à contenu amorphe que l'on observait au sommet de la roche mère des sols du knick. Cette disparition s'effectue vers le profil $G_{II}5$; elle correspond à la transition sols ferrallitiques — sols ferrugineux.

L'horizon argileux (Pl. XVII photos 67 et 68), riche en minéraux altérables de l'aval, présente un assemblage porphyrosquelique. Le squelette est constitué de quartz, feldspaths K, plagioclases, biotites, quelques amphiboles. Les feldspaths sont fortement dentelés, rarement altérés dans la masse. Les biotites sont altérées, soit avec une décoloration qui provoque un avivement des teintes de polarisation, soit avec une ferruginisation dans la masse. Les amphiboles s'altèrent par transformation in situ en plasma le long de fissures plus ou moins parallèles aux plans de clivage.

Le plasma est dans l'ensemble vo-squel-insépique avec persistance d'îlots non orientés. Dans ces îlots, on reconnaît un plasma d'altération asépique, le plus souvent dérivé de feldspath, qui répond aux critères déjà utilisés précédemment (essentiellement conservation de l'orientation optique des résidus d'un même cristal).

Dans le plasma masépique, on retrouve, sauf en quelques endroits précis qui seront évoqués plus loin, les caractères observés dans l'horizon BC des vertisols de la toposéquence de Garango I : les biotites s'exfolient par glissements parallèles à l'orientation du plasma ; les fragments de plagioclase (et des autres minéraux primaires vraisemblablement mais il n'est pas possible de s'en assurer) se déplacent par translation et rotation. Tous ces caractères confirment l'autochtonie du plasma et son orientation par contraintes internes.

Autour de certains pores ou fentes, le fond matriciel est identique à celui des horizons B_2 à structure de transformation : plasma masépique passant à des domaines cutaniques bien orientés mais à forme irrégulière, squelette fin à répartition hétérogène. La transition entre ces deux sortes de fond matriciel est linéaire (Pl. XVII photos 65 et 66).

Ce type de matériau, en devenant de plus en plus superficiel vers l'aval, subit des transformations : généralisation de l'organisation squel-vo-masépique à tout le fond matriciel, dispersion de tous les minéraux fracturés, différenciation de nodules ferromanganésifères par imprégnation de biotites, d'amphiboles et de plasma, apparition de granules bruns imprégnés de fer... En $G_{II}20$, la succession des organisations de la base vers le sommet du profil est résumée dans le tableau XII.

On reconnaît la séquence d'organisations décrite dans le profil médian de la toposéquence de Garango I et qui caractérise les sols à différenciation plasmique autochtone dominante.

En conclusion, les domaines éluviaux et illuviaux de la toposéquence reposent à l'amont sur une arène peu altérée qui constitue un horizon C, à l'aval sur un horizon BC qui résulte de la différenciation in situ du plasma argileux à partir de minéraux altérables. L'illuviation

y est modérée, sauf au contact du B illuvial sus-jacent où des accumulations d'argile mêlée d'un peu de squelette fin s'effectuent dans les fentes et les pores grossiers.

Au-delà de la zone d'extension des domaines éluviaux et illuviaux, s'étendent des sols bruns eutrophes vertiques, puis des vertisols, à développement autochtone, où l'illuviation est très modérée et secondaire à la porosité créée par l'altération ou l'activité biologique.

Tableau XII. — Succession verticale des organisations des sols aval de la séquence de Garango II.

horizon	Assemblage	Squelette	Organisation plasmique	Traits pédologiques
A	intertextique		plasma peu biréfringent, riche en granules organiques	quelques nodules ferromanganésifères circonscrits
B sommet	porphyrosquelique	Dispersion croissante du squelette fin au sein du plasma ↑	vo-squel-masépique ↑	– argilanes – nodules ferromanganésifères diffus ou circonscrits – granules ferrugineux diffus.
B base			vo-squel-insépique ↑	– argilanes – nodules ferromanganésifères diffus centrés sur biotites.
BC		Les fragments d'un même cristal restent groupés et conservent une orientation commune.	insépique	rares argilanes en bordures de certains pores.

Ces matériaux et sols présentent un certain nombre de caractères spécifiques dont le plus sûr et le plus évident semble être la persistance, sur l'ensemble de l'horizon pour les BC, jusqu'à proximité de la surface (milieu et même sommet du B) pour les sols bruns eutrophes, de biotites en cristaux morphologiquement intacts ou en amas de lamelles plus ou moins étirés parallèlement à l'orientation du plasma. On se rappellera en effet qu'aucune biotite de taille suffisante pour être identifiée au microscope n'existe dans les horizons lessivés et illuviaux précédemment décrits. Il s'avère, ainsi qu'on l'a précisément montré à Diébiga, que la biotite, de même que toute autre structure fragile, ne résiste pas au lessivage brutal qui affecte ou a affecté ces horizons. Ainsi, la limite supérieure de l'horizon BC coïncide strictement avec la disparition de la biotite. Au-dessus de cette limite se situe le domaine où les mécanismes de lessivage agressif puis d'illuviation effacent les structures héritées de la roche mère.

Remarque : Il ne faut pas considérer la persistance ou au contraire la disparition brutale des biotites comme des critères spécifiques permettant de distinguer à coup sûr les horizons B des toposéquences monotones des horizons B_2 résultant de l'illuviation d'anciens horizons A_2. Si ces critères sont très bien adaptés aux toposéquences que nous étudions, il est toutefois possible qu'en présence de structures pédologiques initiales différentes ou sur d'autres roches mères, les biotites résistent au lessivage brutal et total qui est à l'origine des horizons A'_2. Dans chaque cas, il est nécessaire de suivre les filiations des micro-structures en attachant une importance particulière aux discordances ***systématiques*** éventuelles entre ces structures. De ces observations naîtront probablement d'autres critères qui viendront s'ajouter à ceux que l'on a déjà mis en évidence (réorganisation du squelette, destruction des structures altéro-illuviales, pulvérisation brutale des biotites...) ou remplacer les critères défaillants.

D. CONCLUSIONS

Nous avons retrouvé à Garango II un système pédologique présentant de grandes analogies avec celui de Diébiga. Et ces analogies se résument essentiellement à l'existence de deux types de séquences génétiques d'horizons.

1. Des séquences initiales où interviennent des mécanismes d'altération, de migration d'argile, de remaniements internes. Elles correspondent aux sols ferrallitiques et aux sols ferrugineux de l'amont, mais aussi aux sols bruns et vertisols de l'aval. Toutefois, les mécanismes moteurs de la différenciation des horizons n'agissent pas avec la même intensité dans les deux cas.

2. Une séquence seconde ou dérivée qui transforme certaines des séquences précédentes par lessivage puis illuviation et détermine, à l'échelle de la toposéquence, l'apparition d'un domaine éluvial et d'un domaine illuvial, séparés par une limite tranchée, continue. Cette limite est profonde à l'amont, superficielle à l'aval.

De nombreuses autres analogies se sont fait jour au cours de l'étude, qui ont trait à l'organisation des horizons et que l'on pourrait récapituler. Mais il semble plus instructif de s'attarder sur les différences, également nombreuses.

Ces différences peuvent être regroupées en 5 rubriques qui concernent :

1. La séquence initiale de l'amont.
2. Le mode de progression du lessivage.
3. La localisation de l'horizon B inférieur.
4. Le développement des horizons B en langue.
5. Le passage aux sols vertiques de l'aval.

1. La séquence initiale de l'amont :

Une première différence réside dans les manifestations de l'altération. Le stade d'altération canaliculaire avec formation de gel n'existe pas à Diébiga. Si l'on se réfère aux études antérieures (DELVIGNE, 1965 ; NOVIKOFF, 1969 ; SIEFFERMANN, 1969), ce stade est caractéristique de l'altération des roches cristallines sous climat humide, qui aboutit à la formation de sols ferrallitiques. L'absence de phase gibbsitique en nuance toutefois quelque peu la signification. En effet, NOVIKOFF (1969) constate au Congo l'évolution des gels soit vers la gibbsite soit vers des minéraux de la famille de la kaolinite. Le même auteur, à la suite de SIEFFERMANN, JEHL et MILLOT (1968), attribue cette différence à l'existence, dans le second cas, d'une saison sèche qui provoque la concentration des substances dissoutes, silice en particulier, dans la solution intersticielle. Ceci répond parfaitement au milieu climatique de la toposéquence de Garango II. Mais la quantité de gels formés est très faible et cette étape, pour significative qu'elle soit, n'en reste pas moins très fugace et n'affecte que le sommet de la roche mère. Au-dessus, absente ou masquée par la ferruginisation du plasma, elle n'est plus décelable au microscope.

L'altéroplasmation succède à l'altération canaliculaire dès le cortex qui coiffe la roche mère. Mais les domaines plasmiques asépiques qui en résultent, occupent une place beaucoup plus restreinte que dans le sol rouge de Diébiga. Ils font place rapidement à des cutanes argilo-ferrugineux, ce qui traduit une mobilité plus grande du plasma d'altération. Cette mobilisation de l'argile s'effectue de façon très ménagée puisqu'elle ne provoque aucun déplacement du squelette.

Enfin, les étapes successives de formation du fond matriciel dans les horizons BC et B sont différentes à Diébiga et à Garango II. A Diébiga, l'altéroplasmation et la pédoturbation se succèdent dès la base du profil (horizon BC), et l'illuviation affecte aussi bien la porosité de l'un ou de l'autre des fonds matriciels qui en résultent. Dans le sol ferrallitique de Garango II,

on reconnaît deux étapes très distinctes. La première mêle intimement altération et mobilisation de l'argile (et du fer) et aboutit à la formation de la structure altéro-illuviale. La seconde résulte uniquement de la pédoturbation.

2. Le mode de progression du lessivage

A Diébiga, la progression de l'horizon lessivé s'effectue selon un front continu qui, au moins à l'amont, ne laisse derrière lui que de rares reliques de structures pédologiques initiales. Il faut la résistance mécanique de la carapace aval pour que des îlots résiduels de ces structures persistent de façon durable dans l'horizon lessivé. Mais ces pédoreliques elles-mêmes disparaissent, à une exception près (profil D11), avant d'être envahies par l'horizon d'accumulation. Si, à l'échelle microscopique, le développement des organisations éluviales aux dépens des structures pédologiques initiales est en tous points identique dans les deux cas, à l'échelle macroscopique, on constate que le lessivage progresse de façon beaucoup moins radicale à Garango II. Il laisse d'abord intacte la majeure partie du réseau ferrugineux puis, vers l'aval, ne parvient qu'à le réduire à des îlots qui restent très abondants. Et ces pédoreliques se maintiennent dans les horizons B sur près de la moitié de leur zone d'extension latérale (cf. fig. 29).

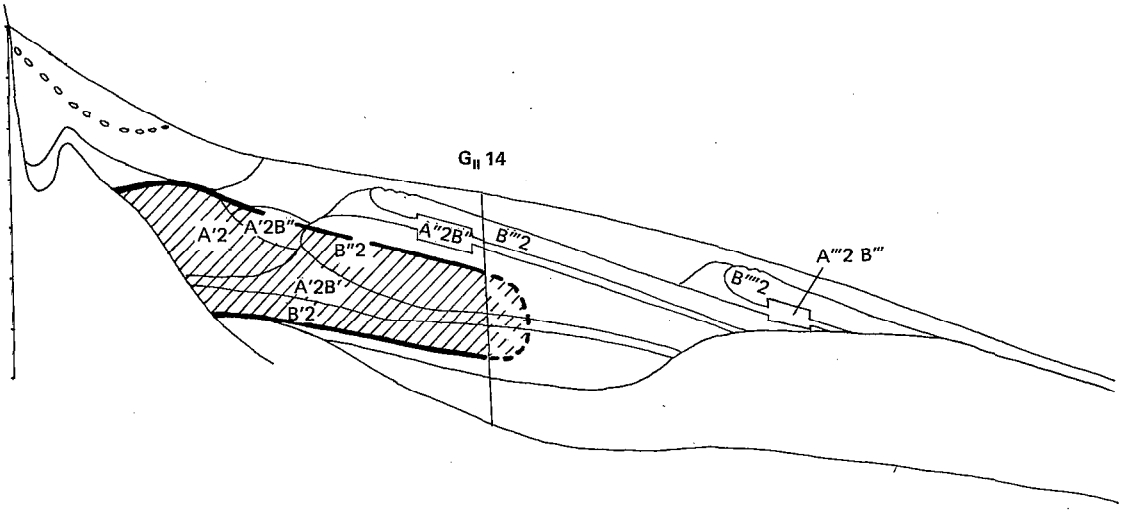


FIG. 29. — Zone d'extension des reliques de structures pédologiques initiales (en hachures) à Garango II.

Un tel héritage est extrêmement précieux car il témoigne non seulement de l'existence d'une étape éluviale antérieure à l'illuviation, cette étape étant responsable de l'isolement des pédoreliques, mais aussi d'une période encore plus ancienne où la différenciation du profil était analogue à celle des sols ferrugineux de l'amont.

3. La localisation de l'horizon B inférieur et sa signification

L'horizon B'_2 de la toposéquence amont de Diébiga est discontinu, constitué de corps isolés piégés par les irrégularités du sommet de l'arène, ces irrégularités étant attribuables à une altération différentielle en fonction de la structure fortement diaclasée de la roche mère. Il en va différemment à Garango où l'horizon illuvial est, dès son apparition, continu. Si des chicots rocheux peuvent l'interrompre dans une coupe longitudinale, cette interruption est locale et l'horizon B ennoie la base de ces chicots. On constatera ultérieurement, grâce à l'étude du régime hydrique, que tout se passe comme si cet horizon B se formait au fond d'une vaste cuvette, délimitée à sa base et à son amont par l'arène granitique, et à son aval par les deux

premiers horizons B en langue. Dès lors, on peut assimiler, à la différence d'échelle près, la partie amont du domaine lessivé où l'horizon d'accumulation est absent, aux dômes d'arènes qui, dans la toposéquence amont de Diébiga, en sont également dépourvus (cf. fig. 17 h.t. et Pl. VIII).

Ainsi que le montrera l'étude du régime hydrique, l'horizon B inférieur résulte de la décantation des produits, arrachés par le lessivage aux structures pédologiques initiales, au sein de la nappe piégée dans cette cuvette. Il s'agit alors de migrations approximativement verticales.

4. Le développement des horizons B en langue, première approche de leur mode de formation

L'étude de la genèse des horizons B en langue sera abordée à plusieurs reprises, en particulier à la lumière des observations sur le régime hydrique de la toposéquence. Mais, dès maintenant, certains faits mis en évidence par l'étude morphologique, ou les conclusions auxquelles ils nous ont mené, permettent de cerner le mode de formation de ces horizons :

1. On a montré qu'ils se sont formés au sein de l'horizon lessivé (cf. II — B — 5 et II — C — 2).

2. Ils sont séparés les uns des autres par des horizons A_2B, qui résultent d'un colmatage très incomplet de l'horizon lessivé.

3. Ils naissent nettement plus à l'aval que l'horizon B inférieur, après qu'aient été lessivés les derniers horizons de la séquence initiale.

4. La succession dans l'espace, de l'amont vers l'aval, des horizons initiaux, lessivés et illuviaux correspond également à une séquence chronologique.

Or deux hypothèses seulement pouvaient être avancées à priori quant à la genèse de ces horizons :

1. La succession verticale, à partir du profil $G_{II}10$, des horizons B_2 et A_2B correspond à une illuviation verticale rythmique.

2. Les horizons B en langue résultent d'accumulations latérales, qui provoquent la remontée vers l'amont d'horizons B successifs (mécanisme analogue à celui qui fut démontré au Tchad par Bocquier, 1971).

Si, dans la seconde hypothèse, de nombreux points d'interrogation subsistent, seule, la première soulève des objections irréductibles. Nous avons vu en effet que les sols ferrallitiques, et ferrugineux de l'amont constituent la principale source de fraction fine et de produits solubles, qui alimente les horizons illuviaux. Or, cette source se tarit une vingtaine de mètres à l'amont de la tête du premier horizon B en langue et à une distance encore plus grande des suivants. Par ailleurs, une illuviation verticale rythmique n'explique nullement l'apparition échelonnée de ces horizons.

Dès lors, on peut considérer comme hautement probable que les horizons B en langue sont des horizons d'accumulation latérale.

La toposéquence aval de Diébiga (fig. 18) nous montre un stade beaucoup moins différencié du même phénomène. L'horizon d'accumulation latérale, dont l'organisation est identique à celle des horizons équivalents de Garango II, aux reliques de structures pédologiques initiales près, n'en est qu'au début de sa progression vers l'amont. Il est de plus unique, ce qui confirme le décalage dans le temps aussi bien que dans l'espace de l'apparition de ces horizons d'accumulation latérale.

5. Le passage aux sols vertiques de l'aval

A Garango II, le passage latéral aux sols bruns eutrophes vertiques s'effectue sans modification appréciable de la roche mère. Bien que cette roche mère soit hétérogène, l'échelle de ses variations, centimétrique à métrique, reste bien inférieure à celle, décamétrique à hectométrique, des domaines pédologiques successifs.

L'horizon d'accumulation verticale, aussi bien que ceux d'accumulation latérale, butent vers l'aval sur des horizons autochtones, compacts, vertiques. Ce barrage aval résulte d'une variation latérale du type d'altération et, sans trop déborder sur l'interprétation d'ensemble qui sera faite ultérieurement, une fois terminée la collection des faits, on peut souligner que cette variation est liée à l'influence de l'impluvium d'appoint que constitue le flanc de l'inselberg.

Aussi, aux deux types de barrage que nous avions rencontrés à Diébiga et qui étaient respectivement la conséquence de facteurs pédologiques (topographie d'une limite d'horizon) et géologiques (variation pétrographique brutale) s'ajoute celui-ci, dont la cause profonde est d'ordre géomorphologique.

Troisième Partie

ÉTUDE ANALYTIQUE

Introduction

Le nombre de toposéquences, la complexité de certaines d'entre elles (toposéquences contrastées), la nécessité de tenter de saisir les moindres variations aussi bien latérales que verticales, m'ont imposé le prélèvement d'un grand nombre d'échantillons. Parmi ceux-ci il a fallu malheureusement faire un choix afin de ne pas excéder les possibilités des laboratoires qui se sont chargés des analyses. Ce choix explique que la densité des points de mesure soit parfois insuffisante pour que l'on puisse établir avec certitude la relation entre les variations analytiques et celles de certains facteurs de la pédogenèse, tels que la roche mère par exemple. La même contrainte m'a amené à retenir beaucoup plus d'échantillons pour les toposéquences contrastées que pour les toposéquences monotones. Ceci ne signifie nullement qu'il faille attacher moins d'importance aux secondes qu'aux premières. Mais aucune des variations rapides, nombreuses et importantes, qui se produisent dans les toposéquences contrastées, ne pouvait être négligée si l'on voulait tenter de saisir analytiquement les mécanismes pédologiques, tandis que les modifications relativement faibles et progressives, qui existent dans les toposéquences monotones, pouvaient être caractérisées par un nombre plus restreint d'analyses. Il n'en reste pas moins qu'une étude très approfondie de ces dernières nécessiterait un échantillonnage serré ayant une valeur statistique. Ce travail reste à faire.

Les analyses ont été effectuées au laboratoire des sols de l'O.R.S.T.O.M. à Bondy, sous la direction de P. Pelloux, ainsi qu'à l'Institut de Géologie de Strasbourg pour certaines d'entre elles, dont on précisera l'origine dans le texte.

Les résultats seront présentés sous deux formes : d'une part, des graphiques montrant les variations verticales des diverses valeurs envisagées au niveau de chaque profil analysé ; d'autre part, des cartes d'isovaleurs analogues à celles utilisées par Bocquier (1971). Ces cartes constituent la meilleure représentation des variations latérales des données analytiques au long des versants, à condition toutefois que ces variations soient d'ordre pédogénétique et reflètent la dynamique globale du versant. Au contraire, lorsque ces variations sont principalement liées à des modifications rapides et répétées de la roche mère, le tracé des courbes isovaleurs n'est possible qu'avec un très grand nombre de points, pour finalement n'apporter que peu d'informations en supplément de celles fournies par les courbes de variations verticales. Tel sera le cas par exemple de la toposéquence de Soffokel.

Afin d'éliminer au maximum les tableaux de chiffres, trop peu évocateurs, on a autant que possible porté les valeurs chiffrées sur l'une ou l'autre des représentations graphiques.

On étudiera successivement :

Chapitre III La granulométrie
- I La fraction fine : argile et limon
- II Le squelette : sable fin, sable grossier, gravier

Chapitre IV La minéralogie des constituants des sols
- I Minéralogie des argiles
- II Minéralogie des sables

Chapitre V Les propriétés chimiques
- I La matière organique
- II Le complexe absorbant
- III La composition chimique globale des sols

Chapitre VI Régime hydrique — Géochimie des eaux de Garango II

Chapitre III

La granulométrie

I. LA FRACTION FINE : ARGILE ET LIMON

A. TOPOSÉQUENCES MONOTONES : fig. 30 à 32

1. Variations verticales de la fraction fine

Les variations verticales des teneurs en argile, présentent de nombreuses analogies dans les trois toposéquences étudiées.

A l'amont, le taux d'argile, très faible dans le matériau arénacé, augmente rapidement dans le BC, puis s'accroît ou se maintient jusque vers le sommet de l'horizon B. On note ensuite une diminution dans le tiers supérieur du B et dans le A. Cette diminution présente une allure variable selon le type de sol : très peu accusée dans les sols bruns subarides vertiques de Soffokel (fig. 32), elle est nette dans les sols bruns eutrophes de Garango I (fig. 30), où elle s'étale sur 45 cm à partir de la surface. Elle est maximum et très brutale dans les solonetz de Tassamakat (fig. 31). Le solonetz amont de Tassamakat se singularise par l'existence d'un double décrochement, l'un à la base de l'horizon B columnaire, l'autre à son sommet. Le passage des solonetz aux sols bruns, par troncature du A et du sommet des colonnettes, est fidèlement reflété par les courbes granulométriques. On constate en effet sur la figure 33 que les courbes granulométriques du sol brun, qui succède immédiatement à un solonetz, se déduisent de celles de ce dernier par élimination de la partie supérieure du graphique.

A l'aval, la base des courbes granulométriques est identique à celles du haut de pente. Par contre, on constate à ***Garango I et à Tassamakat*** (fig. 30 et 31) une atténuation progressive puis une disparition de l'appauvrissement superficiel en argile et l'on aboutit même à une croissance continue et régulière des taux de fraction fine de la base du B jusqu'en surface.

Les sols bruns subarides de Soffokel (fig. 32) conservent, du point de vue granulométrique, l'uniformité au long de la pente qui nous avait déjà frappé lors de l'étude morphologique. Si l'on excepte la fraction supérieure à 2 mm, dont l'existence est liée à celle du calcaire, il serait bien difficile d'établir une différence significative entre les spectres granulométriques de l'amont et ceux de l'aval. Seul se distingue le profil sur alluvions (S6) où l'on a marqué par un décrochement brutal entre les horizons IC et IIB la discordance entre le substrat et les alluvions. Celles-ci sont d'ailleurs d'une remarquable homogénéité texturale et s'opposent aux matériaux pédologiques des versants par leur richesse en limon grossier et leur pauvreté en sable fin.

En résumé, dans les sols des toposéquences monotones, les courbes de variation verticale des teneurs en argile sont des courbes simples présentant un seul maximum. Ce maximum se situe vers le milieu du B dans les sols bruns eutrophes ou bruns subarides. Il est superficiel dans les vertisols aval des toposéquences de Garango I et de Tassamakat.

Les variations verticales des teneurs en limon présentent une allure semblable à celles de l'argile, mais elles sont considérablement atténuées : légère augmentation dans le BC par rapport à l'arène, légère diminution en surface, qui s'estompe vers l'aval.

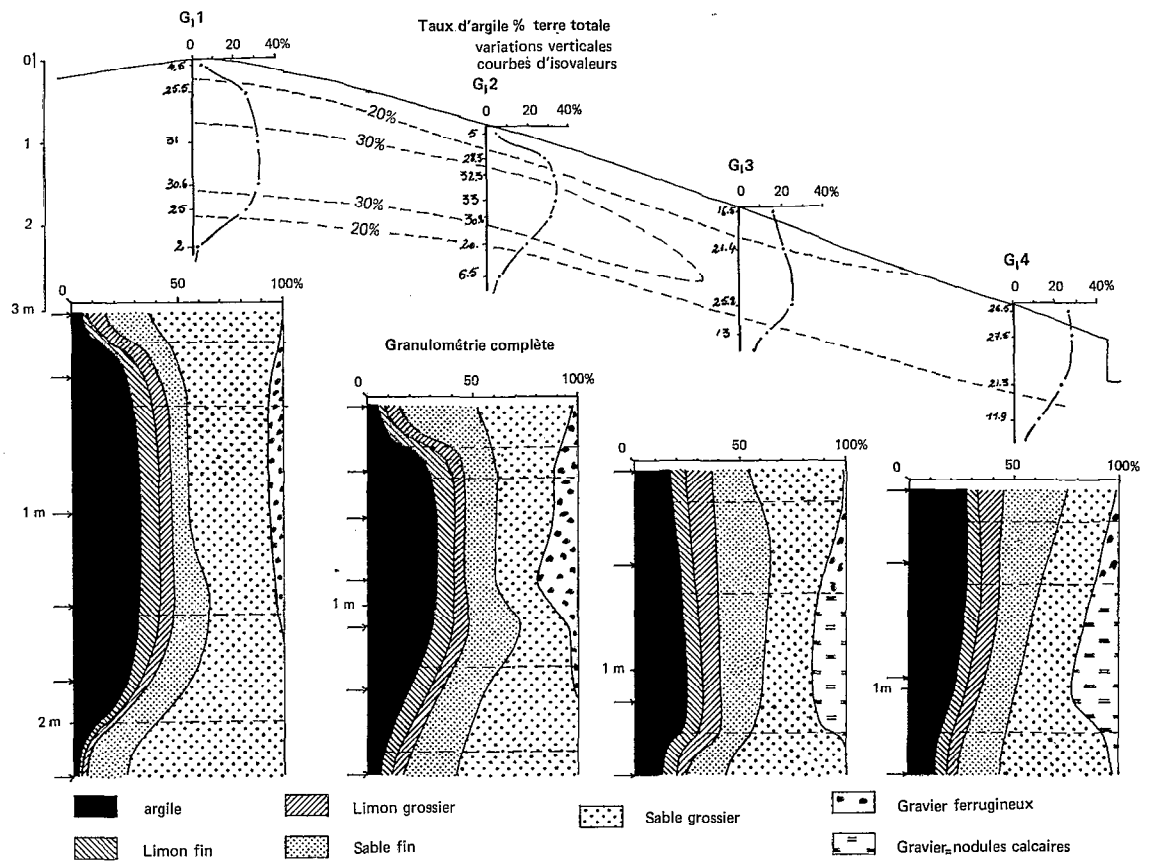


FIG. 30. — Garango I. Granulométrie.

L'interprétation de ces résultats, considérés dans leurs variations verticales, est aisée pour ce qui concerne la base des profils. En effet, l'analyse micromorphologique nous a montré le développement croissant du plasma argileux d'altération aux dépens des minéraux primaires depuis l'arène jusque vers le sommet du B. Les mesures au compteur de points confirment cette augmentation simultanée du plasma d'altération et du taux d'argile (fig. 12). Si un doute persistait, lors de l'étude morphologique, quant à l'origine du plasma des horizons B des solonetz de Tassamakat, le voici atténué par l'analogie des spectres granulométriques de ces solonetz avec ceux des sols bruns eutrophes ou subarides. L'étude de la minéralogie de la phase résiduelle nous mènera ultérieurement à des conclusions identiques.

Il est par contre plus délicat d'expliquer les variations superficielles, car plusieurs facteurs peuvent intervenir. Ces facteurs sont essentiellement au nombre de quatre :

— lessivage de l'argile ;
— entraînement superficiel sélectif par l'érosion ;

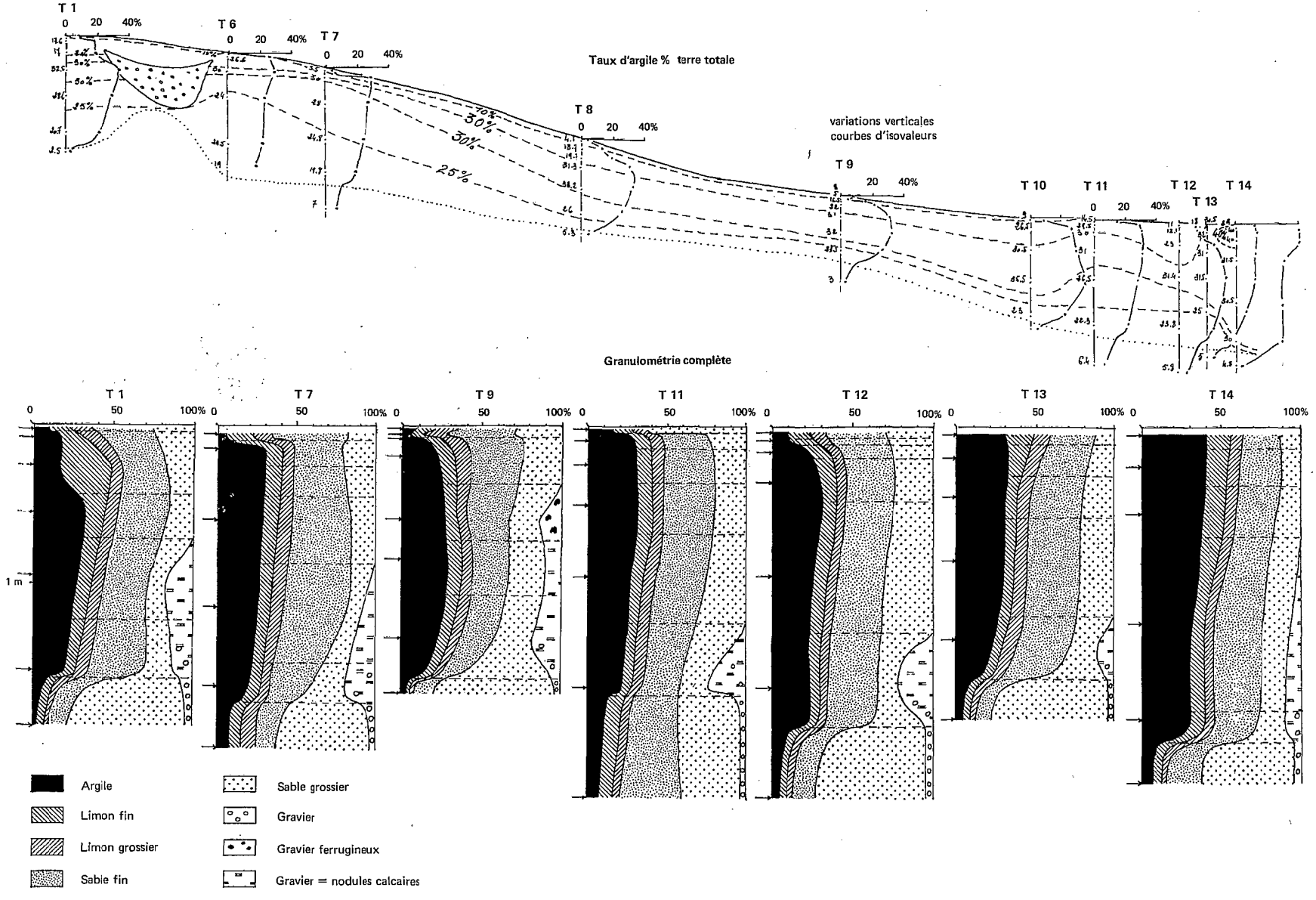


FIG. 31. — Tassamakat. Granulométrie.

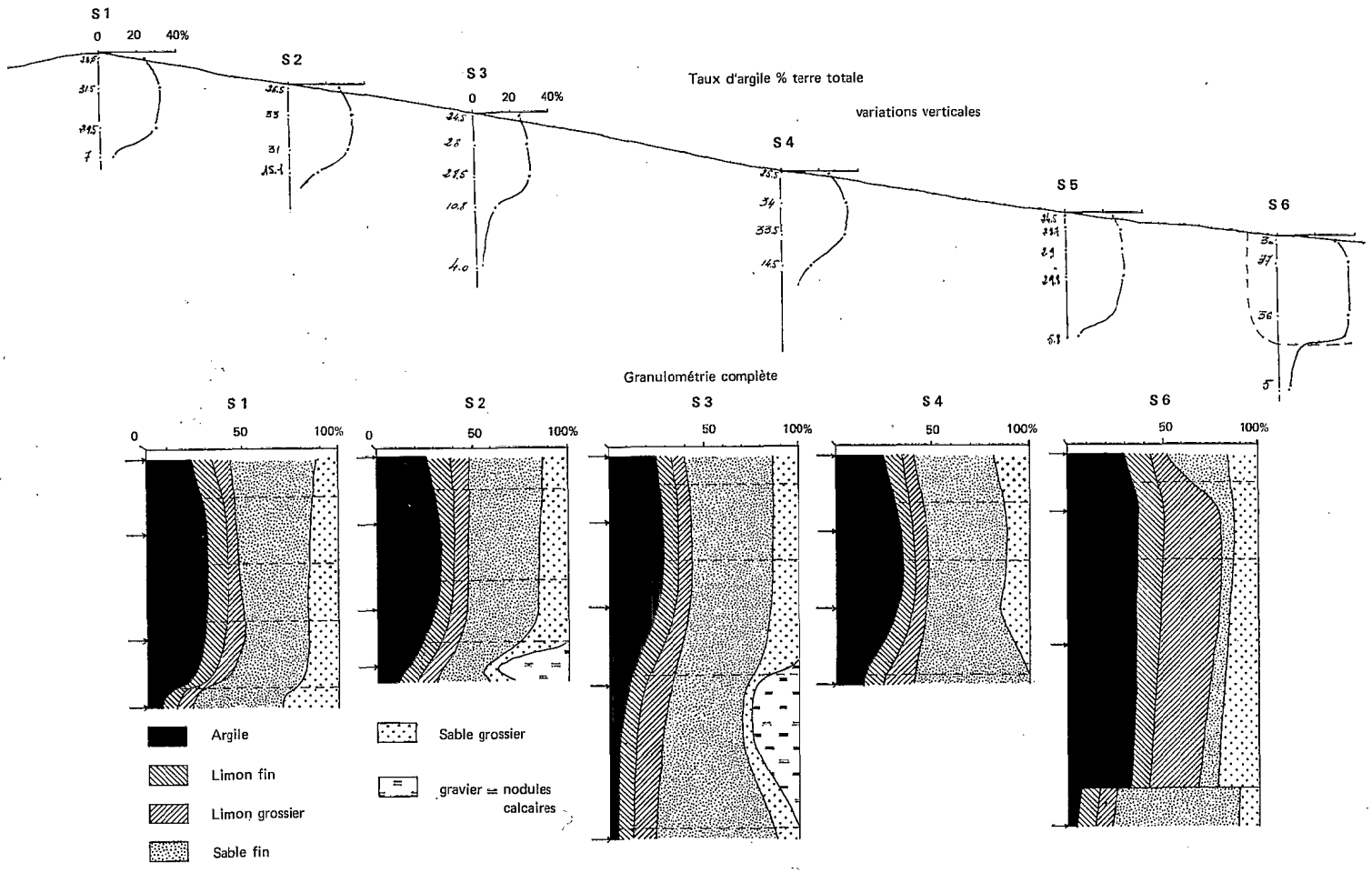


FIG. 32. — Soffokel. Granulométrie.

— altération préférentielle à certains niveaux du profil ;
— activité biologique.

Les traces des deux premiers facteurs ont été observées à l'œil nu ou au microscope.

Les cutanes d'illuviation sont présents au sommet de tous les horizons B mais en proportions variables. Ils sont rares à Soffokel, ce qui est conforme au très faible appauvrissement superficiel en argile des sols bruns subarides vertiques. Ils sont abondants au sommet et dans le B columnaire des solonetz et susceptibles, de ce fait, de rendre compte d'une part importante de la diminution du taux d'argile dans l'horizon A. A Garango I, à l'amont du moins, nous avons vu au contraire que les structures d'illuviation sont très insuffisantes pour expliquer les faibles teneurs en plasma des horizons A.

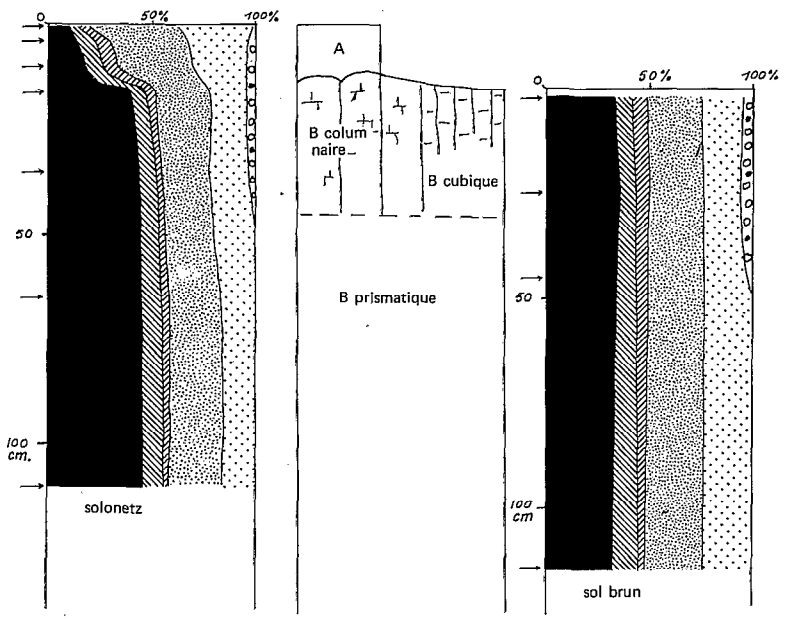


FIG. 33. — Granulométrie comparée d'un solonetz et du sol brun contigu (aval). Toposéquence de Tassamakat.

Les manifestations de l'érosion sont évidentes à Tassamakat, où elles viennent relayer le lessivage pour reconstituer les horizons A, après les avoir détruits. L'enrichissement ***progressif*** en argile du sommet des profils de la plaine aval s'explique bien par le tri granulométrique effectué à l'échelle du versant par l'érosion, conclusion à laquelle nous amenait déjà l'étude morphologique. Ces manifestations sont plus discrètes mais existent aussi à Garango I, où nous avons vu, à la surface du vertisol G_I3, une pellicule de sables déliés brun-clair vraisemblablement issus de l'amont et qui pénétraient dans l'horizon A brun foncé par l'intermédiaire des fentes de retrait. A Soffokel, bien que l'aspect superficiel des sols trahisse une érosion en nappe active, que ne peut freiner la végétation herbacée maigre et discontinue, il ne s'ensuit pas de différenciation texturale notable ; ceci est probablement dû à la finesse du matériau, pratiquement exempt de sables grossiers, et qui est susceptible d'être transporté dans sa presque totalité par le ruissellement.

L'argilification préférentielle à divers niveaux du profil, aux dépens des minéraux altérables, a été envisagée par de nombreux auteurs (BROWN *et al.*, 1940 ; BARSHAD, 1957, 1964 ; BUOL, 1965 ; SMITH *et al.*, 1968 ; RUELLAN, 1970 ; LAMOUROUX, 1971). Un tel phénomène pourrait expliquer, au moins partiellement, la localisation du maximum d'argile dans le

profil ; mais nous ne disposons pour le moment d'aucun argument en sa faveur. Cette hypothèse sera de nouveau prise en considération aux chapitres IV et VI.

L'activité biologique est plus difficile à mettre en évidence à l'échelle du profil, mais les termitières épigées, bien que très espacées sur ces sols lourds, sont là pour nous rappeler que la faune peut intervenir à la longue sur le profil textural.

Nous voyons en fin de compte qu'il est possible de mettre en évidence au moins deux facteurs importants de la différenciation texturale superficielle ; ce seraient les transferts mécaniques superficiels (érosion), et internes (lessivage). Mais le problème de la part respective de chacun de ces facteurs persiste. Seule l'étude fine de la dynamique actuelle de ces sols permettrait de le résoudre.

2. Cartes d'isovaleurs de l'argile granulométrique (fig. 30 et 31)

Les conclusions précédentes sont tirées de la seule observation des variations verticales de la texture. L'examen des cartes d'isovaleurs devrait nous permettre de préciser les variations latérales. Malheureusement, le tracé des courbes d'isovaleurs est rendu hasardeux par l'insuffisance du nombre des points de mesure. On l'a tenté pour les toposéquences de Tassamakat et de Garango I mais en sachant bien qu'il ne peut nous fournir que des indications sur le sens des éventuelles variations amont-aval. A Soffokel (fig. 32), ce tracé n'eût fait que refléter les variations de la roche mère, bien incomplètement d'ailleurs vues la rapidité et la fréquence de celles-ci. Ainsi, l'isovaleur 30 % eût délimité successivement trois domaines fermés (un centré sur S_1 et S_2, un second sur S_4, un dernier sur les alluvions), qui n'auraient même pas représenté fidèlement les modifications de la roche mère, celles-ci étant à l'échelle du décimètre ou du mètre (ces variations restent toutefois faibles puisque le décalage entre les divers profils texturaux n'excède pas 6 % d'argile).

A Tassamakat (fig. 31) où la roche mère est à peu près homogène sur l'ensemble du versant, les courbes d'isovaleurs sont approximativement parallèles à la surface du sol, ce parallélisme n'étant notablement perturbé qu'à l'aval. Ces perturbations sont probablement liées aux remaniements alluviaux très locaux dont témoignent les lentilles profondes de galets de quartz mêlés de nodules ferrugineux qui existent épisodiquement entre les profils T_{10} et T_{14}. A ceci s'ajoute l'enrichissement superficiel en argile signalé plus haut. Ces perturbations aval mises à part, le parallélisme des isovaleurs de l'argile avec la surface du sol ou avec le front d'altération dénient l'existence d'une quelconque différenciation pédologique latérale de la texture. Les nuances qui s'établissent au long de la pente sont plus du ressort de variations pétrographiques mineures et, secondairement, de l'intensité de l'altération, que liées à une dynamique latérale à l'échelle du versant.

A Garango I (fig. 30), l'isovaleur 20 % supérieure, d'abord parallèle à la surface du sol dans les deux tiers amont du versant vient recouper la surface topographique à l'aval, ce qui traduit l'enrichissement en argile de l'horizon A. Les isovaleurs 30 % se rejoignent à mi-pente, au niveau du changement lithologique signalé lors de l'étude morphologique, ce qui délimite un domaine où les taux d'argile du B sont les plus élevés. Ce domaine se situe à l'amont, sur la roche mère la moins basique. Ainsi, non seulement la différenciation latérale de la texture est insuffisante pour être décelée sur le terrain, mais la faible variation que révèle l'analyse est inverse de celle que l'on pouvait attendre. Ce n'est qu'une fois étudiée la minéralogie des constituants de ces sols que l'on pourra proposer une interprétation de cette distribution.

Si l'influence de la roche-mère apparaît prépondérante dans la différenciation texturale à l'échelle du versant, il est possible d'éliminer ce facteur en considérant séparément les segments de pente G_I1-G_I2 et G_I3-G_I4, chacun étant situé sur une roche mère de composition et de structure sensiblement constante. On décèle alors une argilification légèrement plus intense à l'aval de chacun de ces segments.

En résumé nous rappellerons les faits principaux suivants :

— Les variations latérales des taux d'argile granulométrique dans les toposéquences monotones sont faibles, notamment à la base des profils.

— En zone sahélienne ces variations sont à relier à celles de la roche mère. Le parallélisme général des courbes d'isovaleurs avec la surface topographique traduit avec évidence l'absence de différenciation granulométrique latérale.

— En zone soudanienne, l'influence de la roche mère reste prépondérante mais il est possible de déceler une argilification un peu plus forte vers l'aval.

— Les variations texturales superficielles peuvent être sensiblement plus accentuées. Elles seraient alors sous la dépendance de l'érosion superficielle (Tassamakat).

B. TOPOSÉQUENCES CONTRASTÉES : fig. 34 et 35

1. Variations verticales des teneurs en fraction fine

A la séquence pédologique « initiale » de l'amont (sol ferrugineux de Diébiga D1, sol ferrallitique de Garango $G_{II}1$) correspondent des variations texturales de même type que celles des toposéquences monotones : les courbes sont simples, avec un seul maximum situé vers le milieu ou au sommet du B. A Diébiga, la diminution du taux de fraction fine lors du passage du B au A_2 superficiel est brutale. On l'a soulignée par un décrochement qui matérialise la discordance entre structure initiale et structure éluviale[1]. A Garango II, on note, au contraire, un affinement brusque de la texture dans le niveau colluvial supérieur.

La naissance de l'horizon lessivé A'_2, à la base des profils précédents, correspond à une diminution des taux d'argile, et dans une certaine mesure, des limons fins. Cette diminution est d'autant plus accentuée que l'horizon sus-jacent est plus argileux. La teneur en argile du A'_2 est parfois constante ($G_{II}6$), plus souvent lentement décroissante du sommet vers la base de l'horizon A'_2 (D4, D8, D12, $G_{II}7$, $G_{II}8$).

Le taux d'argile, parfois accompagné de celui de limon fin, augmente ensuite rapidement et nettement dans le système illuvial inférieur de Garango II (A'_2B' et B'_2), plus faiblement dans l'horizon B'_2 discontinu de Diébiga. Lorsque l'on a analysé l'arène sous-jacente (à Diébiga et à Garango II amont) ou l'horizon BC (à Garango II aval) se produit une nouvelle diminution du taux d'argile, associée, uniquement dans l'horizon BC de Garango II, à une augmentation des limons (voir $G_{II}11$ et 13).

Vers l'aval, à Diébiga, l'apparition de l'unique horizon B en langue (B''_2) provoque la différenciation d'un nouveau maximum d'argile au-dessus de celui lié au B'_2. A Garango II, ce sont ainsi trois maximum qui apparaissent successivement lorsque l'on va vers l'aval, chacun d'eux surmontant le précédent. Puis ces maximum disparaissent successivement, en commençant par ceux qui se sont formés les premiers, à mesure que l'horizon BC devient de plus en plus superficiel. En $G_{II}20$, nous retrouvons la courbe simple des profils des toposéquences monotones.

En résumé, nous suivons de l'amont vers l'aval, sur les spectres granulométriques successifs, l'apparition des domaines ou horizons pédologiques que nous avons déjà caractérisés morphologiquement. Le passage du domaine initial de l'amont au domaine éluvial se traduit essentiellement par une perte d'argile et, de façon moins accentuée et plus aléatoire, par une diminution des limons. L'apparition des horizons B_2 successifs provoque une « modulation »

1. On a ainsi marqué par des discontinuités dans le tracé des courbes deux sortes de phénomènes. C'est, d'une part, la superposition de matériaux de type sédimentaire qui existe en deux endroits seulement : à l'amont de Garango II où la stratification est marquée par une « stone line » ; à l'aval de Diébiga en D14 où des sables grossiers, issus de l'amont, viennent se superposer à un matériau d'altération de migmatite à grain fin; la discontinuité est soulignée par un trait plein épais. D'autre part, on a exprimé de la même façon la discordance entre les microstructures pédologiques initiales et les structures éluviales et illuviales dérivées ; la discontinuité est soulignée par un trait plein mince. Ceci constitue un artifice graphique qui, dans le second cas, pourra paraître contestable, mais qui permet de rappeler cette discordance dont on a déjà souligné l'importance.

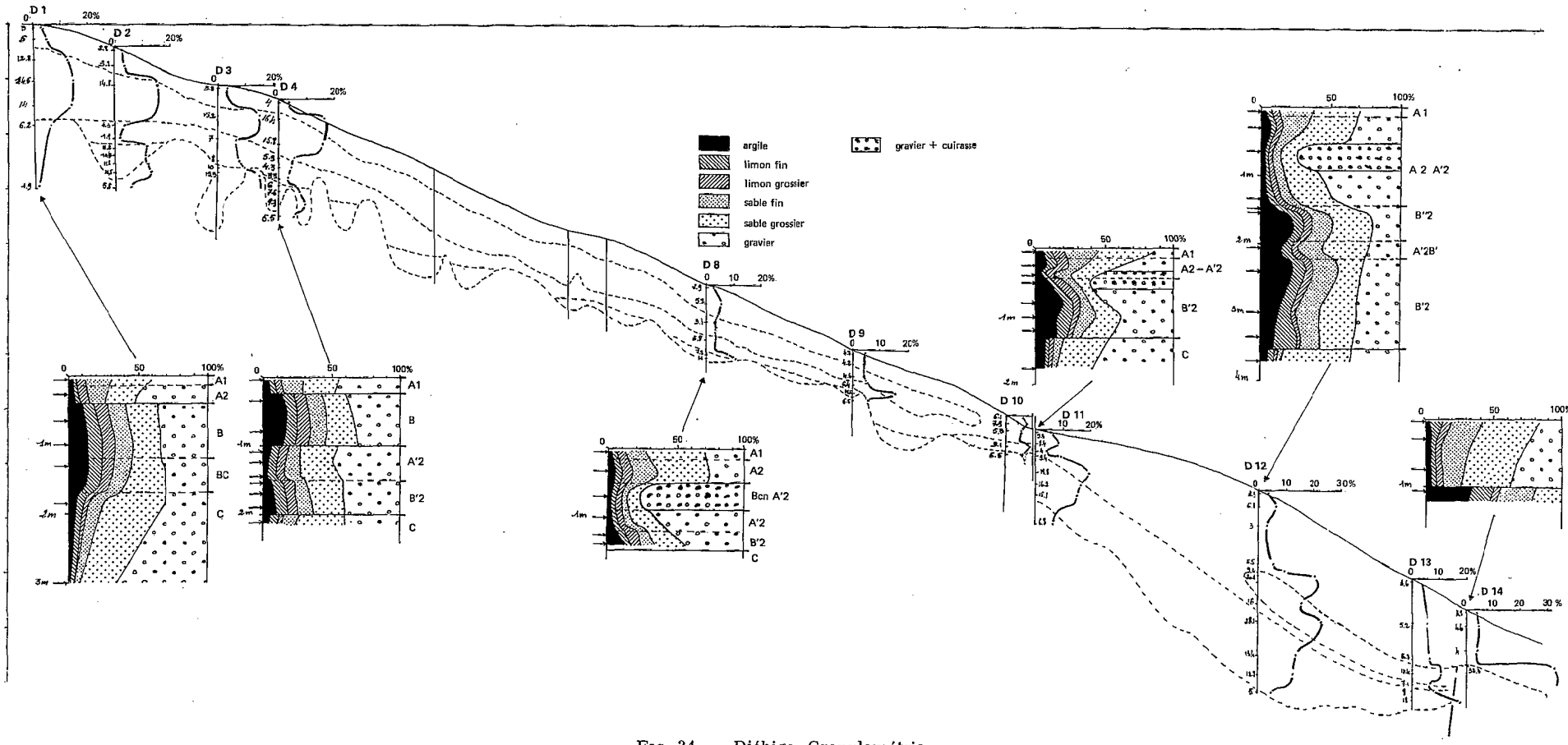


FIG. 34. — Diébiga. Granulométrie.

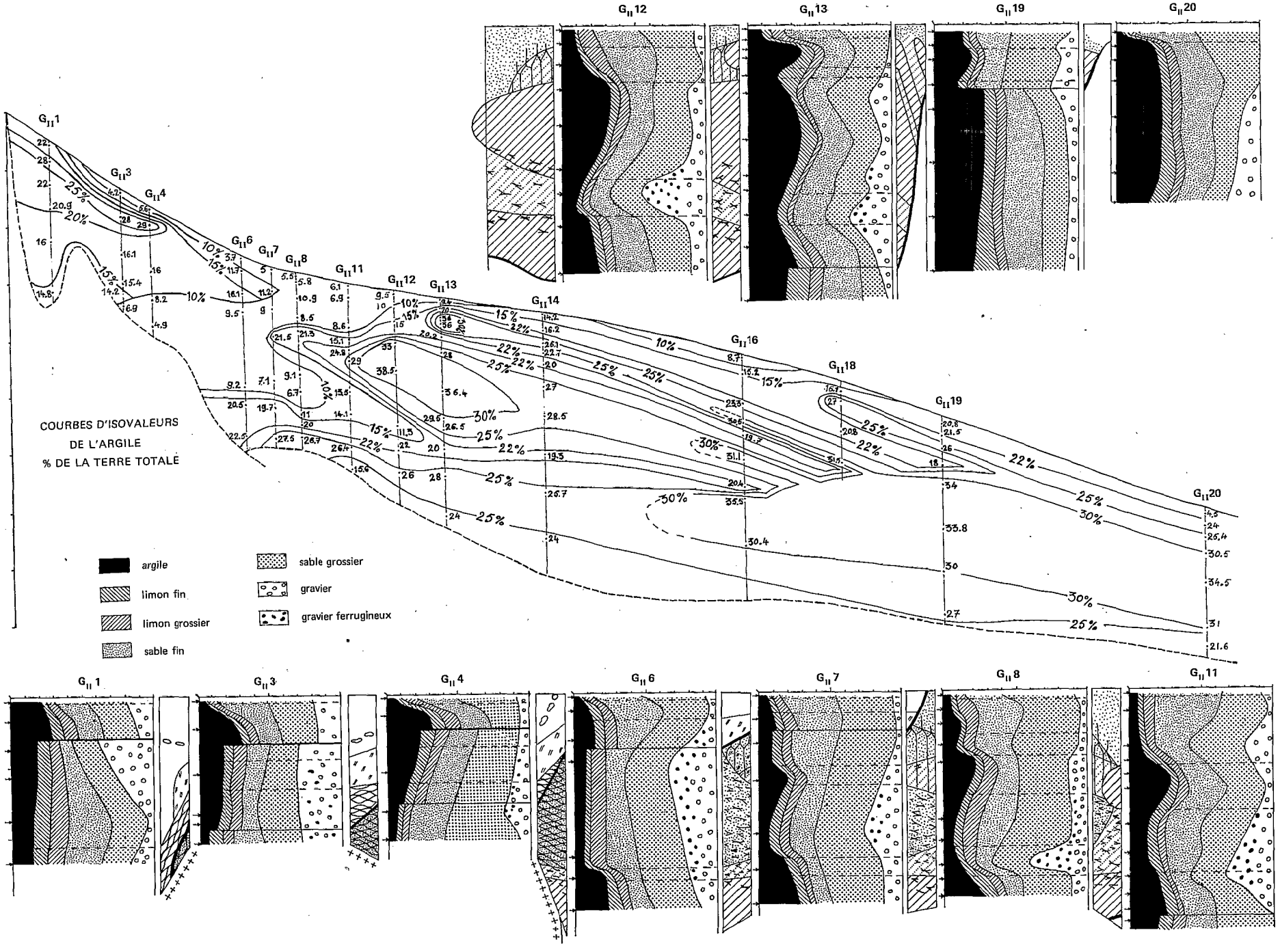


FIG. 35. — Garango II. Granulométrie.

croissante des courbes de teneurs en argile, phénomène déjà mis en évidence au Tchad par Bocquier (1971). Ces modes s'empilent les uns sur les autres jusqu'à atteindre le nombre de trois entre $G_{II}13$ et $G_{II}17$, puis disparaissent successivement à partir de la base. Enfin, à Garango II, et plus nettement encore à Diébiga, l'accroissement du taux d'argile dans l'horizon B_2 inférieur (B'_2) est faible par rapport à la perte qu'entraîne le lessivage dans les profils initiaux de l'amont. La différence est probablement absorbée, à Garango II, par les horizons d'accumulation latérale (B''_2 à B''''_2). A Diébiga, même en l'absence de bilan, irréalisable avec nos seuls résultats, il paraît évident que l'horizon B''_2 aval ne représente qu'une faible partie de cette différence et qu'une exportation importante de matière se produise par le canal de l'exutoire du bassin considéré.

Sans nous apporter de faits vraiment nouveaux, l'étude des variations verticales de la fraction fine nous donne une expression chiffrée de mécanismes que l'on avait qualitativement mis en évidence lors de l'étude morphologique et surtout micromorphologique.

2. Carte d'isovaleurs de l'argile granulométrique (fig. 35)

Seule la toposéquence de Garango II se prête à un tracé précis des isovaleurs des taux d'argile, de par l'épaisseur et la régularité de ses horizons. Cette carte nous montre essentiellement quatre domaines texturaux qui correspondent au domaine amont ou initial, au domaine éluvial, au domaine illuvial et enfin au domaine où l'altération est prépondérante.

Les isovaleurs, tracées le plus simplement possible par interpolation entre les points de mesure, reflètent assez fidèlement les limites d'horizon. Comme il y a un saut brusque entre le domaine amont et le domaine lessivé, et que nous avons vu qu'à toute échelle, le passage de l'un à l'autre de ces domaines correspond à une discontinuité, l'isovaleur 10 %, qui coïncide avec le front de lessivage, recoupe les isovaleurs 15 % du domaine amont. Bien que la même discontinuité existe du point de vue structural entre l'horizon BC et les horizons illuviaux, on n'a pu la marquer de la même façon parce qu'il n'y a pas de contraste textural appréciable entre ces deux types d'horizon.

Dans chacun des deux horizons B en langue les plus développés (B''_2 et B'''_2), il existe deux maximums d'argile nettement individualisés, l'un dans la tête, l'autre dans la racine de l'horizon. D'autre part, si l'isovaleur 22 % suit la limite des horizons B en langue, l'isovaleur 10 %, qui délimite le domaine illuvial, dessine des marches d'escalier qui sont au nombre de trois. Les paliers des deux premières marches sont plus inclinés que la surface topographique, ce qui permet à un îlot de domaine lessivé de persister entre $G_{II}14$ et $G_{II}18$[1]. On constate alors que l'organisation d'ensemble du domaine illuvial est analogue à celle des toposéquences de Kossellili et de Mindéra étudiées par Bocquier au Tchad (1971).

La carte des isovaleurs de l'argile permet de définir la gamme de texture de chacun des domaines.

Tableau XIII. — Gammes texturales des divers domaines de la toposéquence de Garango II.

Domaine initial amont	0 (roche mère)	— 30 %
Domaine lessivé : A'2	4 %	— 10 %
Domaine illuvial : A_2B	10 %	— 22 %
B_2	22 %	— 37 %
Domaine d'altération aval	0 (roche mère)	— 35 %

1. A ce propos, on notera que lors de l'étude morphologique, nous avions considéré comme lessivée la majeure partie de la zone située au-dessus de l'horizon B'''2 et à l'amont du B''''2. Si l'on se réfère aux résultats de l'analyse mécanique, l'horizon B'''_2 est surmonté d'un horizon à teneur en argile > 10 %, qui doit être considéré, du point de vue textural, comme un A_2B ($A'''_2\,B'''$).

Le tableau XIII souligne l'opposition entre les gammes de texture relativement étroites des domaines (ou sous-domaines) lessivé et illuviaux et celles plus larges des domaines amont et aval.

REMARQUE : Dans le domaine amont, la zone à teneur en argile > 25 % repose directement sur la stone line, ce qui suggère qu'elle est au moins partiellement liée au colluvionnement.

II. LE SQUELETTE : SABLE FIN, SABLE GROSSIER, GRAVIER

Avant d'aborder l'étude granulométrique du squelette, il est nécessaire de souligner un fait capital pour l'interprétation des résultats. Ce fait réside dans l'homogénéité (ou au contraire l'hétérogénéité) du grain de la roche mère, qui varie considérablement d'une toposéquence à l'autre. Ainsi, la roche mère à grain le plus homogène est le granite de Diébiga. Puis vient celui de Tassamakat. Les migmatites de Garango I et II sont plus hétérogènes, l'hétérogénéité maximum étant atteinte à Soffokel. L'hétérogénéité du grain de la roche mère influe évidemment de façon notable sur les variations granulométriques du squelette d'un horizon à l'autre, et peut aller jusqu'à masquer l'influence de la pédogenèse. En effet, la schistosité des roches mères des trois dernières toposéquences citées est oblique, ce qui fait que l'on peut changer de lit en passant du sommet à la base du profil. La signification pédogenétique des variations granulométriques du squelette ira donc décroissante dans l'ordre suivant : Diébiga — Tassamakat — Garango I et II — Soffokel. De ce fait, nous nous appuyerons essentiellement sur les deux premières toposéquences, les autres ne nous apportant de faits interprétables que dans la mesure où leurs résultats analytiques sont cohérents.

On étudiera tout d'abord les spectres granulométriques globaux puis le rapport sable fin/sable grossier, qui traduit le sens des variations granulométriques du squelette de façon beaucoup plus sensible que les graphiques précédents. Enfin, l'analyse de la granulométrie détaillée de quelques profils de la toposéquence amont de Diébiga nous permettra d'apprécier l'importance de certains des mécanismes mis en évidence auparavant.

A. SPECTRES GRANULOMÉTRIQUES GLOBAUX

L'analyse des spectres granulométriques ne nous permet pas d'aller très loin dans l'étude de la différenciation du squelette, tout d'abord parce que chaque fraction y est représentée en pourcentage pondéral et que seules les variations importantes des différentes fractions les unes par rapport aux autres apparaissent nettement, ensuite parce que les classes granulométriques sont larges et, de ce fait, peu aptes à mettre en évidence des modifications ténues du squelette.

Quelques faits se dégagent toutefois de l'examen de ces graphiques :

1. Dans les toposéquences monotones (fig. 30 à 32) :

— Le passage de l'arène au B s'accompagne d'une diminution du squelette, corrélative de l'augmentation de l'argile.

— Au sein de la fraction sableuse, les sables grossiers diminuent rapidement, tandis que les sables fins augmentent le plus souvent.

Le premier fait est avant tout une simple conséquence du mode d'expression des résultats (pourcentages pondéraux), l'augmentation d'une des fractions entraînant nécessaire-

ment la diminution de la somme des fractions complémentaires. Toutefois, en nous rappelant les conclusions de l'étude morphologique, nous pouvons dire aussi qu'il reflète le développement du plasma argileux aux dépens du squelette sableux.

Le second fait, qui sera précisé lors de l'étude du rapport sable fin/sable grossier, traduit la fragmentation des sables grossiers, qui alimente le squelette fin, mécanisme que l'on a également observé en lame mince.

2. Dans les toposéquences contrastées (fig. 34 et 35) la variation d'une classe granulométrique donnée, au niveau de la discordance entre structures initiales et structures éluviales et illuviales dérivées, est d'autant moins accentuée que l'on va vers les fractions grossières. Autrement dit, lorsque l'on trace les courbes en joignant séparément, d'une part les points situés au-dessus de cette discordance, d'autre part les points situés au-dessous, les segments ainsi obtenus ont de plus en plus tendance à être dans le prolongement l'un de l'autre. C'est pourquoi les courbes qui délimitent les graviers montrent rarement un décrochement aux contacts B-A'_2, B'_2-C ou B'_2-BC. Celui-ci apparaît parfois pour la courbe séparant les sables grossiers et les sables fins (ex. $G_{II}19$ fig. 35) et plus souvent pour celle séparant les sables fins et les limons grossiers (ex. : $G_{II}13$). Ce fait suggère une certaine stabilité du squelette grossier au cours de l'histoire de la toposéquence, chaque classe granulométrique étant d'autant plus affectée par les mécanismes de lessivage et illuviation qu'elle est plus fine.

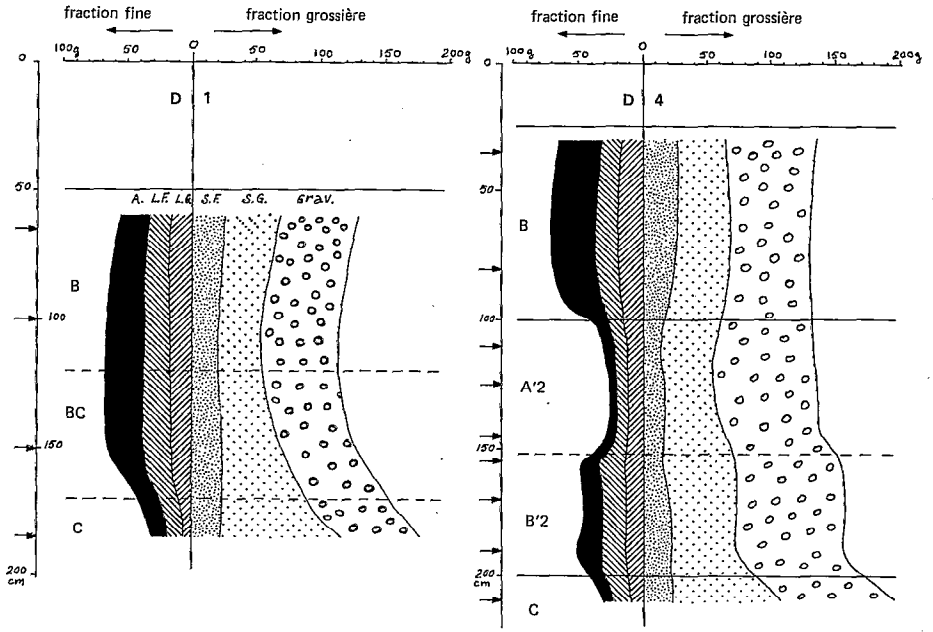


FIG. 36. — Poids des différentes fractions granulométriques dans 100 cm³ de sol.
Profil D1 à gauche et profil D4 à droite.

Ce que nous venons de dire s'applique bien à la toposéquence de Garango II. A Diébiga (fig. 34), s'il n'en est pas de même pour le profil D4 par exemple, c'est qu'intervient entre les horizons B et A'_2 une très forte différence de densité apparente ; si bien que 100 g de terre représentent un volume nettement plus grand dans le A'_2 que dans le B. Ceci est mis en évidence par la figure 36 où l'on a représenté les variations de la composition granulométrique de 100 cm³ de matériel non perturbé dans les profils D1 et D4. On constate qu'à quelques nuances près, qui seront précisées plus loin (§ B et C), les courbes représentant le squelette du profil D4 (partie droite du graphique) ont la même allure que celles du profil D1. En particulier, la variation brutale que l'on constatait pour les graviers entre le B et le A'_2 sur le diagramme granulométrique de la figure 34, a disparu.

3. Les superpositions sédimentaires se marquent très nettement dans ce type de graphique par un décrochement de toutes les courbes granulométriques. Tel est le cas du sommet des profils $G_{II}1$ à $G_{II}4$ à l'amont de Garango II (fig. 35), où la stratification est déjà mise en évidence par la présence de la stone line. Nous retrouvons le même phénomène à l'aval de la toposéquence de Soffokel (fig. 32) où la texture des alluvions (S6) s'oppose à celle de leur substratum, aussi bien qu'à celle du versant, par l'abondance des limons grossiers et la pauvreté en sable fin. L'opposition est encore plus évidente en D14, à l'aval de la toposéquence de Diébiga (fig. 34), où la classe des graviers (essentiellement constituée de quartz et feldspaths) est abondante dans le A_2-A'_2 et absente du substrat.

B. LE RAPPORT SABLE FIN/SABLE GROSSIER

L'utilisation du rapport sable fin (50-200μ)/sable grossier (200-2 000μ) permet d'étudier les variations relatives de deux classes granulométriques contiguës appartenant au squelette, sans tenir compte de leurs variations absolues ou par rapport aux autres fractions granulométriques. Le choix d'un rapport permet d'amplifier ces variations relatives, mais ne nous donne qu'une vue partielle de l'évolution du squelette. Il faudrait aussi étudier le rapport sable grossier/gravier et limon grossier/sable fin si l'on ne craignait d'alourdir excessivement le chapitre consacré à la granulométrie. Le choix des fractions sable fin et sable grossier tient à ce qu'elles existent généralement dans tous les horizons et dans des proportions qui restent du même ordre de grandeur. S'il en allait différemment, une variation, même mineure en valeur absolue, d'une des fractions pourrait provoquer une fluctuation excessive du rapport, le faisant tendre vers zéro ou au contraire vers l'infini, lorsque le numérateur ou le dénominateur tendrait à s'annuler. Or, ceci se produit fréquemment dans le cas des rapports sable grossier/gravier et limon grossier/sable fin, alors qu'il en est rarement ainsi pour le rapport sable fin/sable grossier des matériaux pédologiques issus de roches à granulométrie moyenne.

1. Le rapport sable fin/sable grossier dans les toposéquences monotones (fig. 37)

Comme l'on s'y attendait, c'est à ***Tassamakat*** que les variations du rapport SF/SG sont les plus cohérentes : augmentation brusque lors du passage de l'arène au B_{ca}, puis progressive jusque vers le sommet du B. Diminution variablement accentuée dans le A_2 ou, pour le sol de haut de pente, dans l'horizon B.

Mise en relation avec les résultats de l'analyse micromorphologique, l'augmentation du rapport SF/SG reflète fidèlement la fragmentation des minéraux primaires sous l'effet conjugué de l'altération et des contraintes internes. La diminution superficielle est à relier au tri par l'érosion qui entraîne plus aisément les sables fins que les sables grossiers. Dans la plaine aval (T_{14}), qui est sensée recevoir les matériaux arrachés au versant, le rapport augmente effectivement de façon notable vers le sommet du profil où il atteint une valeur supérieure à toutes celles obtenues sur la pente.

Le sol amont (T_1) se distingue des autres par une diminution plus précoce du rapport, diminution qui s'étale sur les 50 cm supérieurs. La concurrence entre fragmentation et altération est susceptible d'expliquer ce fait. En effet, si la fragmentation l'emporte dans la partie inférieure du profil, le rapport SF/SG augmente ainsi que nous venons de l'exprimer au paragraphe précédent. Mais, lorsque la totalité des minéraux altérables a été fragmentée et a ainsi alimenté le stock de sable fin, l'altération, se poursuivant, réduit alors principalement cette classe granulométrique, ce qui diminue le rapport sable fin/sable grossier. Le deuxième phénomène (diminution du rapport dans la partie supérieure du B) ne s'observerait plus dans les profils de la pente, par suite de la troncature énergique de leur sommet, que l'on a mise en évidence lors de l'étude morphologique.

A ***Garango I***, les variations du rapport SF/SG dans chaque profil ainsi que les modifications des courbes de l'amont vers l'aval semblent cohérentes. Ainsi, on constate en G_I1

une augmentation du rapport SF/SG de l'horizon C vers la base du B, sa diminution dans le corps de cet horizon, puis sa tendance à augmenter de nouveau en surface. En G_I^2, la courbe est de même type, mais le minimum en B est plus accentué. La présence de petits nodules ferrugineux dans les sables grossiers de ces horizons B, présence que l'on a effectivement constatée à l'examen des refus du tamis 0,2 mm, est susceptible d'expliquer ce minimum, qui seul distingue la courbe des sols bruns eutrophes de celle des solonetz. En effet, la fraction 0,2-2 mm, se trouve renforcée par la présence de ces nodules d'origine pédologique.

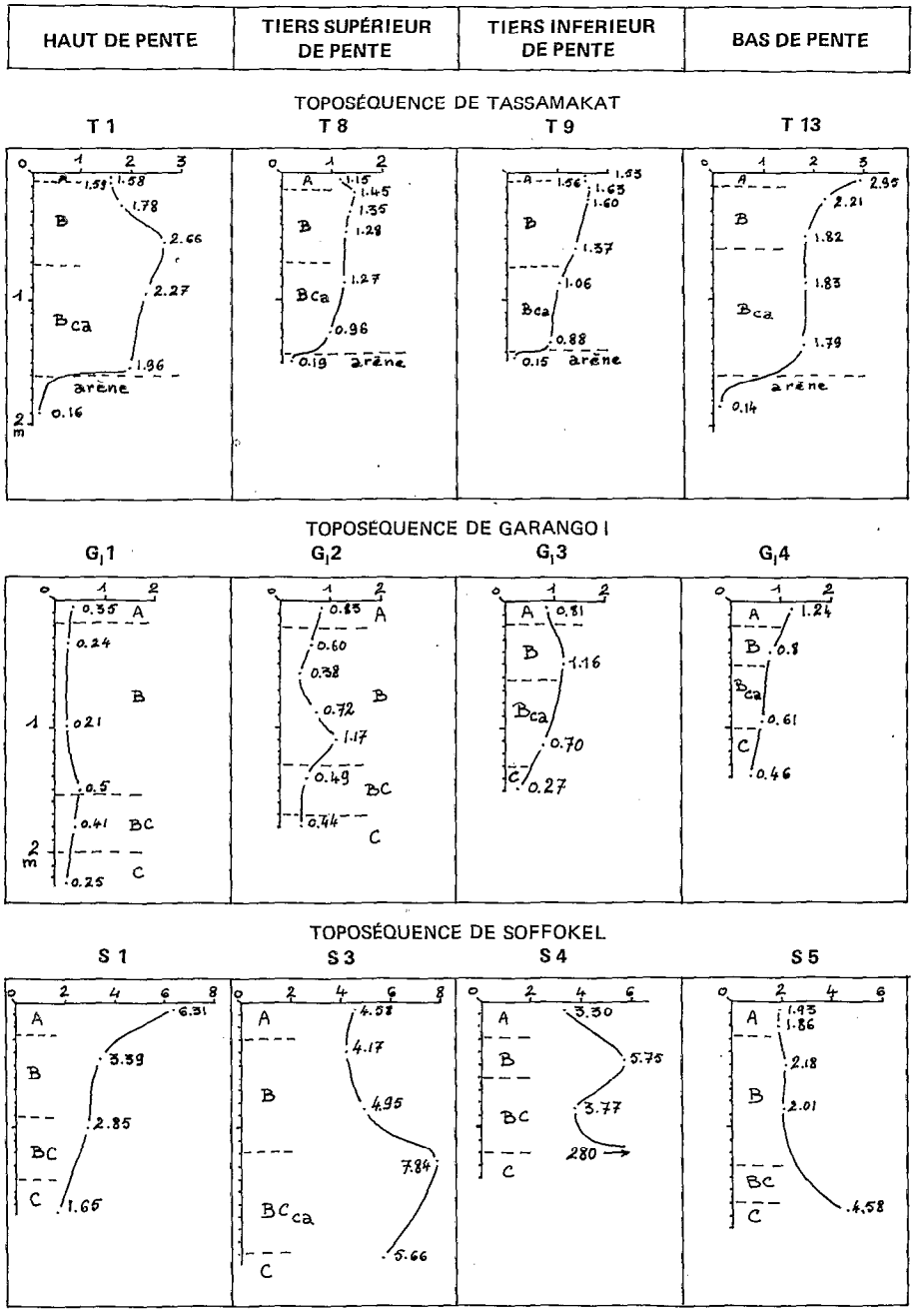


FIG. 37. — Toposéquences monotones.
Rapport sable fin/sable grossier.

Vers l'aval, nous retrouvons les mêmes types de courbes à Garango I qu'à Tassamakat.

A ***Soffokel*** la grande variabilité du grain de la roche mère, que l'on a constatée à la fois sur le terrain et en lame mince, et qui apparaît également lorsque l'on compare les rapports SF/SG des matériaux originels des différents profils (1,65 à 280) masque l'influence de la pédogenèse sur le squelette.

En conclusion, le rapport SF/SG dans les toposéquences monotones est influencé par plusieurs facteurs. Les plus importants semblent être la fragmentation et l'altération qui déterminent, lorsqu'elles jouent simultanément (base du profil) une augmentation du rapport, lorsque la seconde devient prépondérante (sommet du profil) une diminution de ce même rapport. Interviennent aussi, mais de façon secondaire, la nodulation ferrugineuse et les transports mécaniques superficiels.

2. Le rapport sable fin/sable grossier dans les toposéquences contrastées

(a) La toposéquence de Diébiga : fig. 38

Pour les raisons exposées dans le préambule du § II, nous considérerons les résultats analytiques des sols de Diébiga comme les plus représentatifs de l'influence de la pédogenèse sur le squelette de minéraux primaires des toposéquences contrastées. A l'homogénéité du grain de la roche mère, vient s'ajouter le fait que les concentrations ferrugineuses indurées sont absentes de la fraction sableuse de par leur taille élevée. Elles ont été en totalité retenues par le tamis de 2 mm.

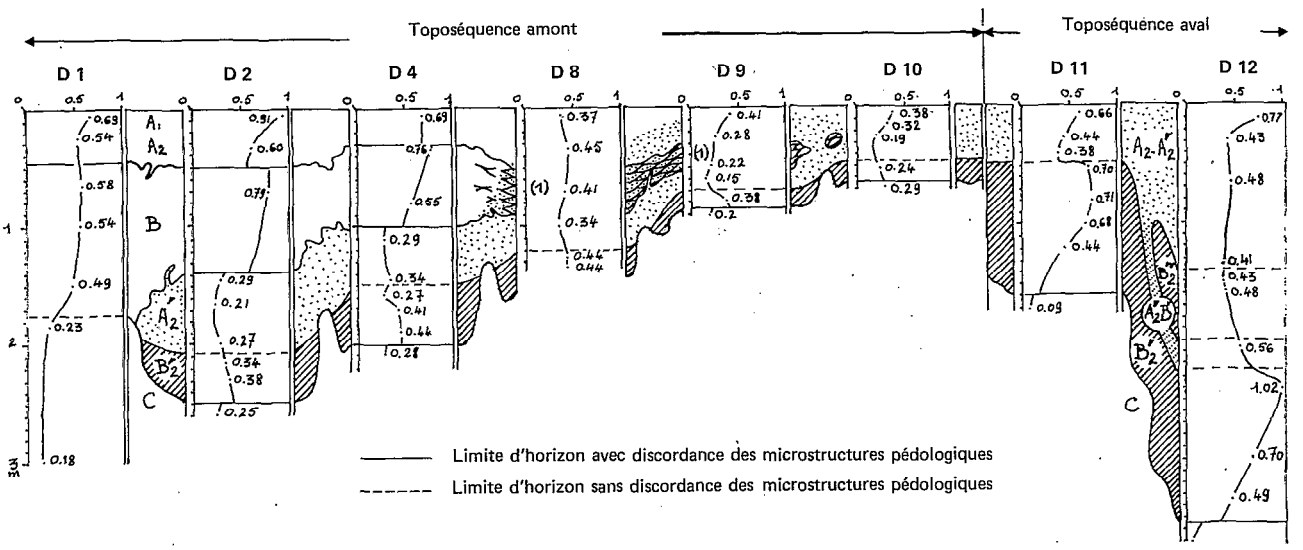


Fig. 38. — Diébiga. Rapport sable fin/sable grossier.
(1) Le rapport sable fin/sable grossier de cet échantillon correspond à la fraction meuble, donc lessivée, de l'horizon. De ce fait, la limite de l'horizon carapacé ne figure pas sur le graphique.

Le sol ferrugineux de l'amont présente, de sa base jusqu'au sommet du B, une évolution du rapport SF/SG très semblable à celle des solonetz de Tassamakat : l'altération et la fragmentation des minéraux primaires alimentent le squelette fin au détriment de la fraction grossière. Mais cette similitude disparaît au sommet du profil, dans l'horizon A_2, où le rapport augmente vers la surface. Le même phénomène se reproduit dans la plupart des profils aval. Nous verrons dans les lignes qui suivent, que cet appauvrissement en sable fin, qui s'accentue de haut en bas, caractérise l'action du lessivage agressif qui, ainsi qu'on l'a déjà souligné, affecte aussi bien l'horizon A_2 superficiel que le A'_2 profond.

En D2, l'apparition de l'horizon A'_2 provoque une chute brutale du rapport SF/SG (confirmée par le profil D4 où 2 points dans le B permettent de tracer plus valablement un segment de courbe), rapport qui continue de décroître, mais plus modérément jusqu'au milieu du A'_2, puis augmente aux abords du B'_2 et dans le corps de cet horizon. Le rapport diminue de nouveau dans l'arène.

Dans les profils suivants de la toposéquence amont, on ne tient plus compte que de la partie meuble, donc lessivée du sequum supérieur. Le rapport SF/SG caractérise alors l'horizon A_2-A'_2. Les trois courbes obtenues sont semblables et confirment l'appauvrissement relatif en sable fin de l'horizon A_2-A'_2 vers sa base et l'enrichissement relatif du B'_2. Seul le profil D8 se distingue par une légère diminution superficielle du rapport, qui, unique parmi les huit profils représentés sur la figure 38, ne peut être prise en considération.

Le premier profil de la toposéquence aval (D11) présente une courbe de même type, mais où le développement accru de l'horizon B'_2 magnifie l'enrichissement relatif en sable fin correspondant.

En D12, nous constatons que la courbe représentative du rapport SF/SG est indifférente à l'existence de l'horizon B''_2 : elle décroît du A_1 au A_2-A'_2, montre ensuite de 20 à environ 190 cm des fluctuations trop faibles pour être significatives (0,41 à 0,48), augmente enfin à l'approche puis au sommet du B'_2. Ceci montre que la différenciation du B''_2 ne modifie pas la composition granulométrique du squelette.

En résumé, l'étude du rapport sable fin/sable grossier dans la toposéquence de Diébiga met en évidence les faits suivants :

1. La séquence évolutive initiale (sol ferrugineux amont) entraîne une différenciation du squelette analogue à celle des sols des toposéquences monotones jusqu'au sommet du B.
2. Le lessivage agressif détermine, par rapport aux horizons qu'il transforme, une diminution relative des sables fins par rapport aux sables grossiers.
3. L'illuviation s'accompagne d'un enrichissement relatif en sable fin dans l'horizon B'_2.
4. La différenciation de l'horizon B''_2 ne semble pas avoir d'influence sur le squelette.

Le point 1 confirme la parenté que nous avions mise en évidence, lors de l'étude morphologique, entre les séquences génétiques d'horizons initiales des toposéquences contrastées et celles des toposéquences monotones.

Les points 2 et 3 peuvent s'interpréter par un lessivage de sables fins dans le A'_2 suivi d'une illuviation dans le B'_2. De telles migrations de squelette ont été mises en évidence par Bocquier au Tchad (1970), par Jamagne en France (1973). Mais étant donné que nous n'avons considéré que des rapports, il n'est pas possible de savoir dans quelle mesure l'illuviation de squelette fin dans le B'_2 est susceptible de compenser la perte par lessivage dans le A'_2 par rapport au B initial. L'étude de la granulométrie de quelques profils clé au paragraphe C nous éclairera à ce sujet.

Les points 3 et 4 viennent renforcer les arguments exposés dans la conclusion de l'étude morphologique de la toposéquence de Garango II et qui militent en faveur de deux modes distincts de migration de matière dans l'horizon lessivé A'_2. Le premier, vertical et qui résulterait d'une décantation rapide au sein d'une nappe perchée, est susceptible d'entraîner, avec l'argile, des sables fins. Il aboutit à la formation de l'horizon B'_2. Le second, latéral, transporterait uniquement des substances dissoutes ou des particules colloïdales pouvant se maintenir en suspension, ce qui exclut le squelette, même fin. Les horizons B_2 en langue résultent de ce deuxième mécanisme.

(b) La toposéquence de Garango II : fig. 39

Sans permettre une analyse aussi détaillée de l'évolution granulométrique du squelette que celle effectuée ci-dessus, l'examen de la figure 38 appelle les remarques suivantes :

— Dans le sol ferrallitique amont, le rapport SF/SG diminue constamment de la base jusqu'à « la stone line ». C'est là un comportement opposé à celui du sol ferrugineux de Diébiga.

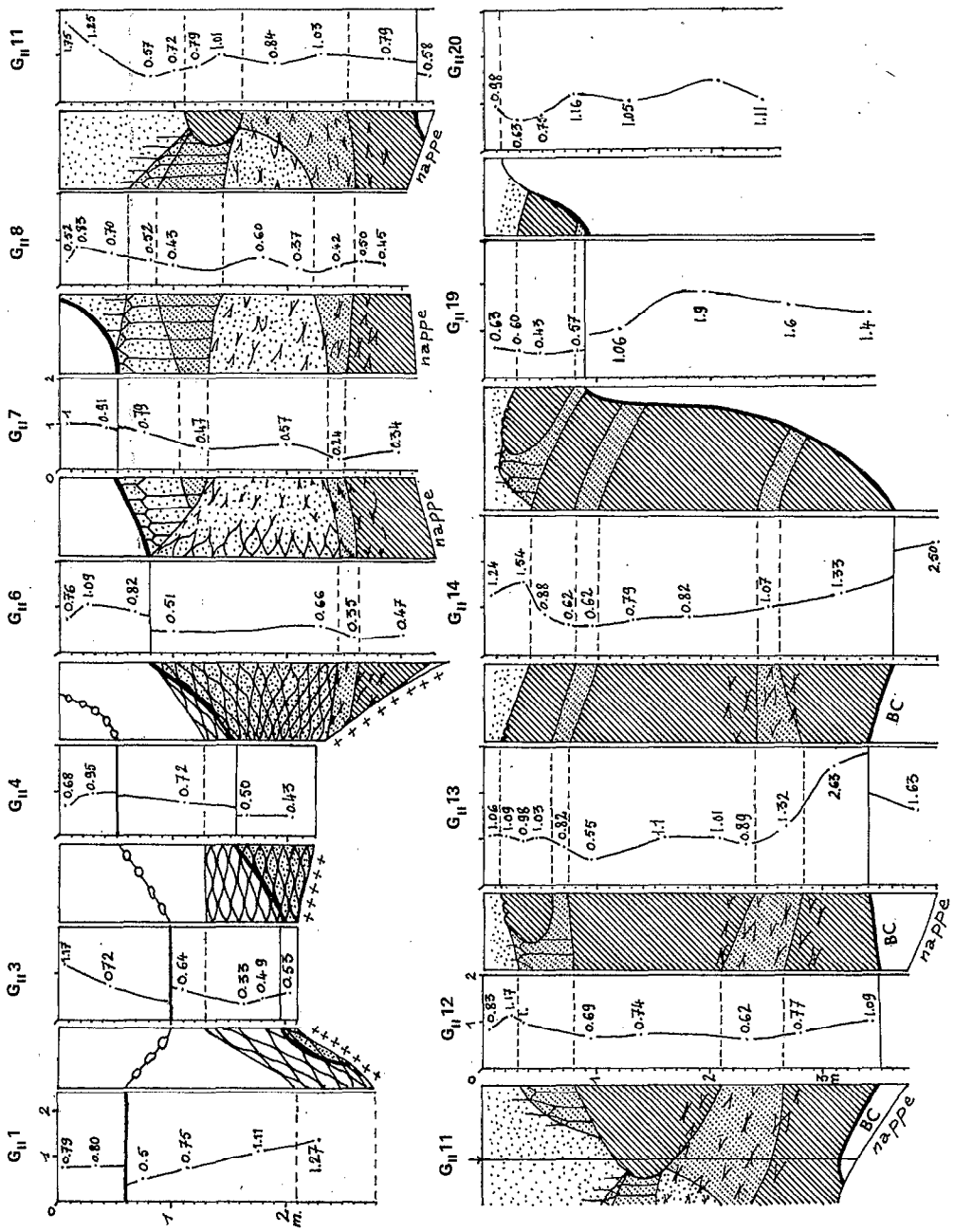


Fig. 39. — Garango II. Rapport sable fin/sable grossier.
Voir signification des figurés représentant les horizons, fig. 26, (h.t.)

Il exprime probablement l'altération beaucoup plus rapide des feldspaths dans le sol ferrallitique. On se rappellera en effet que, dès le cortex d'altération de la roche mère, les fantômes de feldspath ne montrent plus que quelques fragments de cristaux sains (Pl. XII photos 47 et 48). Ainsi, la transformation des feldspaths en plasma succédant rapidement à leur fragmentation, le stock de sables fins issu de ces minéraux s'amenuise vers le sommet du profil. Autrement dit, dans la concurrence entre la fragmentation et l'altération, la seconde l'emporte ici sur la première dès la base du profil. L'évolution des quartz comporte également une fracturation, mais on constate en lame mince qu'une partie importante des grains résiduels reste de taille supérieure à 0,2 mm.

— L'apparition de l'horizon lessivé A'_2 et des horizons d'accumulation entraîne dans l'ensemble les mêmes fluctuations du rapport SF/SG qu'à Diébiga :

- Diminution lors du passage du B au A'_2 lorsque ce dernier est bien installé (dès le profil $G_{II}4$) ;
- Variation faible dans le A'_2 mais qui va fréquemment dans le sens d'une diminution vers le bas ;
- Indifférence de ce rapport à l'existence des horizons d'accumulation en langue, aussi bien que des A_2B intercalés ;
- L'accroissement relatif des sables fins dans le B'_2 est bien marqué à l'aval ($G_{II}12$ à $G_{II}14$). Il est plus difficilement perceptible à l'amont.

C. GRANULOMÉTRIE DÉTAILLÉE DE QUELQUES PROFILS DE DIÉBIGA : fig. 40

L'examen de la figure 40 révèle en premier lieu une parenté inattendue entre tous les histogrammes de la fraction sableuse. On constate en effet qu'il existe dans chacun d'eux quatre classes dominantes séparées par des minimum :

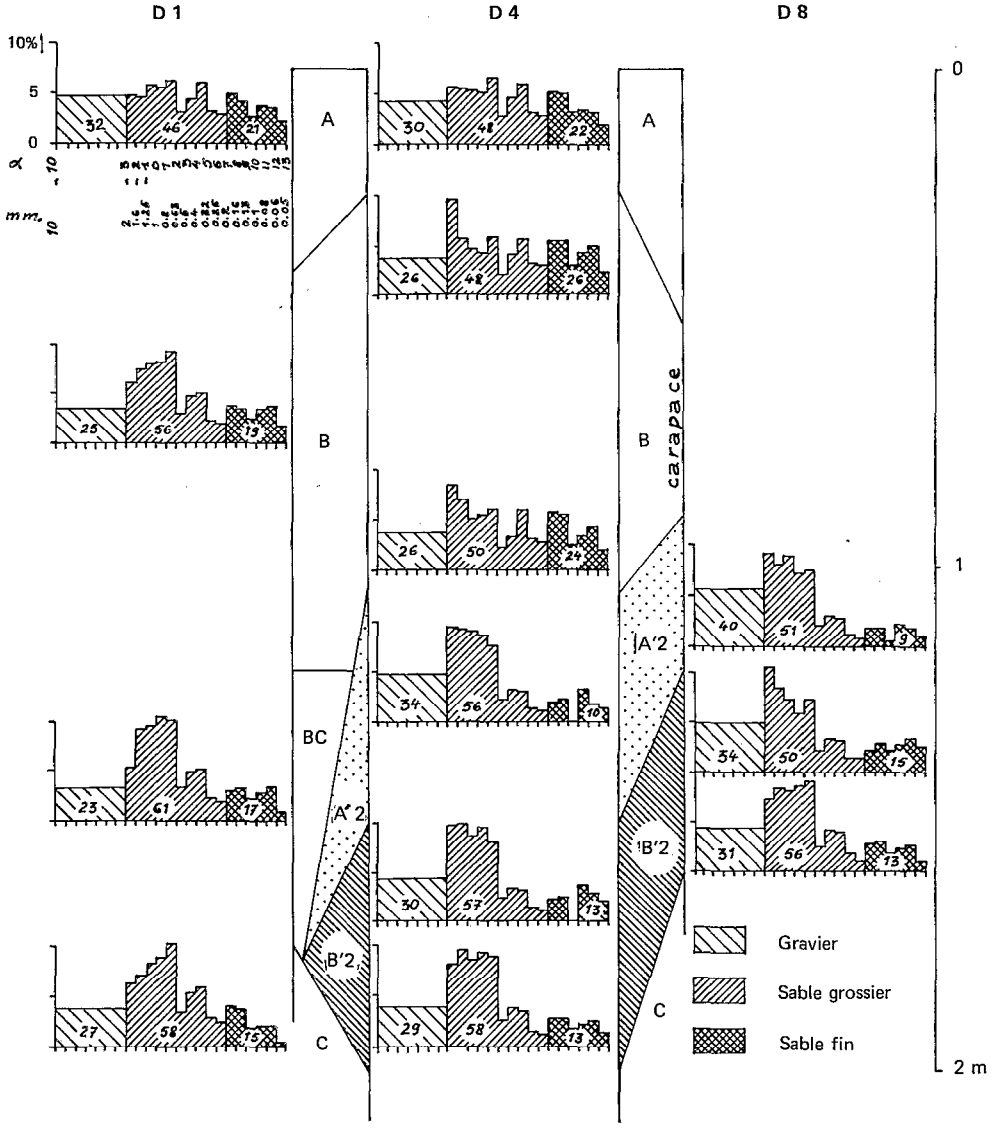


FIG. 40. — Diébiga. Granulométrie du squelette.

Tableau XIV. — CLASSES GRANULOMÉTRIQUES DU SQUELETTE DES SOLS DE DIÉBIGA.

Classes dominantes	Minimum
2-0,63 mm	0,63-0,5 mm
0,5-0,32 mm	0,32-0,2 mm
0,2-0,13 mm	0,13-0,1 mm
0,1-0,05 mm	

Ce caractère, qui existe déjà dans l'arène du profil D1, constitue vraisemblablement la marque granulométrique de la roche mère.

Mais d'intéressantes différences apparaissent également entre les horizons et les profils successifs :

En D1, on constate une diminution continue des sables grossiers et graviers au profit des sables fins, depuis l'arène jusqu'au sommet du profil.

En D4, le passage du B au A'_2 correspond à une forte diminution des sables fins et de la « queue » des sables grossiers (0,5-0,32 mm). L'histogramme de l'horizon B'_2 présente la même allure que celui du A'_2 avec seulement une légère augmentation des sables fins, phénomène qui se répète en D8.

Ces résultats confirment et précisent les conclusions de l'étude du rapport SF/SG. On vérifie, en particulier, qu'il y a bien une illuviation de squelette fin dans le B'_2, mais que celle-ci est faible. Ceci est conforme aux résultats de l'étude micromorphologique qui montraient l'existence, dans la partie supérieure non encore transformée du B'_2, de dépôts de squelette fin exclusivement localisés dans les gros pores.

Cette illuviation de sable fin est très insuffisante pour compenser la perte en cette même fraction lors du passage du B au A'_2. Une pulvérisation des sables fins ne peut être invoquée car elle eut accru la teneur en limon du A'_2 ou du B'_2, ce qui n'est pas le cas (cf. fig. 34). Il faut donc admettre une altération des sables fins dans l'horizon lessivé. Ce problème d'une altération propre au domaine lessivé sera de nouveau envisagé lors de l'étude minéralogique du squelette.

III. CONCLUSIONS

Dans les toposéquences monotones, on observe des variations verticales très simples du taux d'argile, qui s'expriment par des courbes à un seul maximum, situé le plus souvent dans l'horizon B. Les variations texturales de ce type sont fréquentes (FADDA, 1968 ; RUELLAN, 1970 ; DAN *et al.*, 1973). L'accroissement du taux d'argile du matériau à structure conservée jusqu'au maximum textural du B s'interprète aisément, à la lumière des données morphologiques, comme résultant principalement de l'altération. Les variations superficielles sont à relier pour des parts variables et qui n'ont pu toujours être précisées, à l'érosion sélective des fines, au lessivage, à l'activité biologique, à l'altération préférentielle. L'influence de ce dernier facteur sera confirmée par l'étude minéralogique du squelette.

La granulométrie du squelette, exprimée par le rapport sable fin/sable grossier varie sous l'effet concurrentiel de la fragmentation et de l'altération. Des traits pédologiques (nodules ferrugineux) peuvent également intervenir dans ces variations.

En zone sahélienne, on n'observe pas de variations granulométriques latérales ordonnées au niveau des horizons B. A Garango I, dans la mesure où l'on peut distinguer la part de

la variation pétrographique de la roche mère, il semble s'amorcer une argilification légèrement plus intense vers l'aval.

Dans les toposéquences contrastées les domaines initial de l'amont et d'altération aval s'apparentent du point de vue granulométrique aux toposéquences monotones, mais à l'amont, l'illuviation y prend une part plus importante. En revanche, les domaines lessivé et illuvial montrent une forte différenciation latérale de la texture, calquée sur les organisations en horizons mises en évidence par l'étude morphologique.

La granulométrie du squelette, nous apporte de précieuses confirmations de certaines conclusions déduites de l'étude morphologique et même des faits nouveaux :

1. Le passage du domaine initial au domaine lessivé s'accompagne d'une diminution relative des sables fins.
2. L'illuviation d'argile dans l'horizon B inférieur (B'_2) est concomitante d'une accumulation de sable fin. Cette accumulation est cependant faible et insuffisante pour compenser le déficit précédent que l'on attribue en partie à une altération propre au domaine lessivé ; cette altération sera mise plus clairement en évidence lors de l'étude minéralogique du squelette.
3. Les horizons d'accumulation en langue au contraire correspondent exclusivement à une accumulation d'argile granulométrique.

Cette différence granulométrique entre l'horizon d'accumulation inférieur et les horizons d'accumulation en langue vient renforcer les déductions, tirées de l'étude morphologique, quant à leur mode de formation.

Chapitre IV

Minéralogie des constituants des sols

I. MINÉRALOGIE DES ARGILES

L'analyse par diffractométrie aux rayons X de la fraction argileuse a été effectuée au Laboratoire de l'Institut de Géologie de Strasbourg sous la direction de F. WEBER. L'interprétation des diagrammes est due à H. PAQUET. Les résultats sont présentés sous forme semi-quantitative.

REMARQUE : L'évaluation semi-quantitative effectuée à partir de la surface des pics des diagrammes de pâte orientée est souvent vivement critiquée. Sans prétendre accorder à cette méthode une précision qu'elle ne possède pas, on signalera cependant que les déterminations et évaluations ont été faites sans tenir compte de la nature des horizons analysés. Or, le fait que les résultats s'ordonnent dans l'espace de façon cohérente nous autorise à prendre en considération les variations mises en évidence. Ce ne sont pas les chiffres qui figurent sur les graphiques, et dont la seule utilité est de permettre le tracé des courbes, qui doivent retenir notre attention, mais les variations qu'ils traduisent.

A. LES MINÉRAUX ARGILEUX DANS LES TOPOSÉQUENCES MONOTONES : fig. 41 à 45

Les minéraux argileux qui entrent dans la composition de la fraction fine des sols de ces toposéquences sont :

— la kaolinite ;
— la montmorillonite (au sens large. Il s'agit en réalité de minéraux du groupe de la montmorillonite) ;
— l'illite.

1. Variations verticales

Kaolinite et montmorillonite sont, à deux exceptions près (base des profils de Soffokel), partout associées, mais dans des proportions variables. La kaolinite est toujours beaucoup moins abondante que la montmorillonite dans les horizons C constitués de matériau arénacé à structure conservée. Son importance relative augmente vers le sommet du profil. Mais elle ne devient dominante sur la montmorillonite que dans les sols bruns eutrophes de Garango I (fig. 41 et 44-45). L'analogie des spectres minéralogiques de la fraction fine des solonetz et

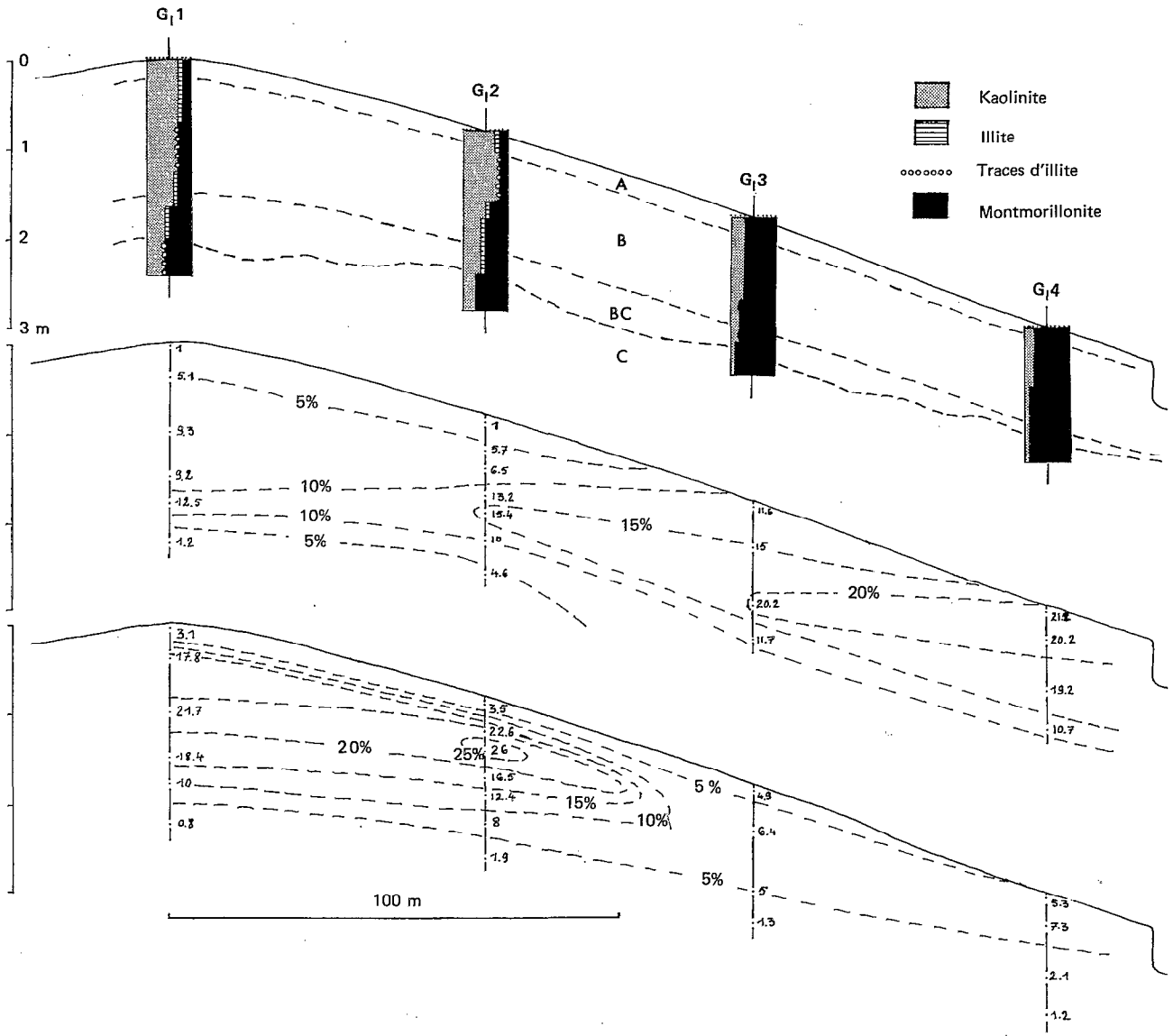
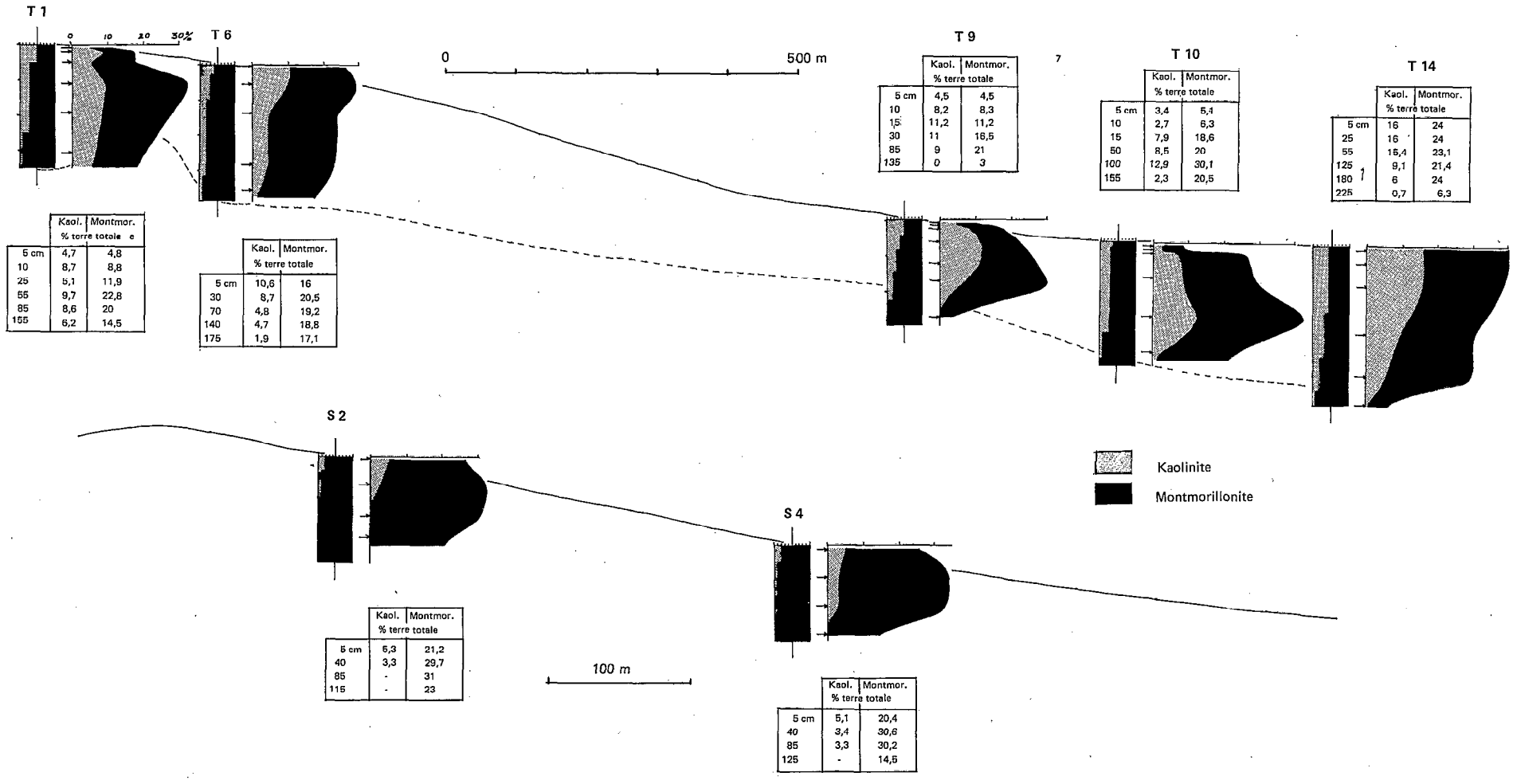


FIG. 41. — Garango I. Composition minéralogique de la fraction argileuse.
FIG. 42. — Garango I. Isovaleurs de la montmorillonite en % de la terre totale.
FIG. 43. — Garango I. Isovaleurs de la kaolinite en % de la terre totale.



	Kaol.	Montmor.
	% terre totale	
5 cm	4,7	4,8
10	8,7	8,8
25	5,1	11,9
55	9,7	22,8
85	8,6	20
155	6,2	14,5

	Kaol.	Montmor.
	% terre totale	
5 cm	10,6	16
30	8,7	20,5
70	4,8	19,2
140	4,7	18,8
175	1,9	17,1

	Kaol.	Montmor.
	% terre totale	
5 cm	4,5	4,5
10	8,2	8,3
15	11,2	11,2
30	11	16,5
85	9	21
135	0	3

	Kaol.	Montmor.
	% terre totale	
5 cm	3,4	5,4
10	2,7	6,3
15	7,9	18,6
50	8,5	20
100	12,9	30,1
155	2,3	20,5

	Kaol.	Montmor.
	% terre totale	
5 cm	16	24
25	16	24
55	15,4	23,1
125	9,1	21,4
180	6	24
225	0,7	6,3

	Kaol.	Montmor.
	% terre totale	
5 cm	5,3	21,2
40	3,3	29,7
85	-	31
115	-	23

	Kaol.	Montmor.
	% terre totale	
5 cm	5,1	20,4
40	3,4	30,6
85	3,3	30,2
125	-	14,5

FIG. 44. — Tassamakat. Composition minéralogique de la fraction fine.

FIG. 45. — Soffokel. Composition minéralogique de la fraction fine.

des sols bruns de Tassamakat avec ceux des sols des autres toposéquences monotones vient confirmer l'appartenance à cet ensemble de la toposéquence de Tassamakat.

La cristallinité de la montmorillonite est excellente partout où elle existe en proportions supérieures à 50 % ; ses pics de diffraction sont aigus et réguliers ; cela signifie qu'elle se trouve dans les conditions favorables à son maintien et à sa stabilité (PAQUET, 1969). Lorsque la montmorillonite n'est pas dominante (teneurs inférieures à 50 % de la fraction argileuse), sa cristallinité devient médiocre, ses pics de diffraction sont de plus en plus flous et étalés à mesure que sa teneur décroît, même si l'on élimine par traitement (GAC, 1968) les produits amorphes susceptibles d'atténuer les réflexions. Cette diminution de la cristallinité correspond à une dégradation : la montmorillonite rencontre dans ces horizons des conditions défavorables à son maintien ; elle se désorganise et tend à disparaître (PAQUET, 1969). De telles conditions apparaissent dans le domaine superficiel et amont de Garango I (jusqu'à 1,60 m en G_I1, jusqu'à 1 m en G_I2) ainsi que, dans une moindre mesure, dans les horizons A_2 des solonetz de Tassamakat. La cristallinité de la kaolinite reste, par contre, partout excellente.

L'illite n'existe qu'à l'amont de Garango I, en faible quantité ou à l'état de traces.

2. Variations latérales

Les variations latérales de la composition minéralogique de l'argile sont très faibles dans les toposéquences septentrionales. A ***Soffokel*** (fig. 45), la prédominance de la montmorillonite est encore plus accentuée à l'amont (S2) qu'à l'aval (S4), ce que l'on peut relier à la présence de calcaire. L'influence de la position topographique ne se manifeste pas. A ***Tassamakat*** (fig. 44), s'il y a de légères différences entre les profils quant aux proportions relatives de la kaolinite et de la montmorillonite, ces variations sont difficilement interprétables et ne semblent pas en tout cas fonction de la position du profil sur le versant. Le profil où la prédominance de la montmorillonite est la plus accentuée se situe à l'amont (T_6). Les variations latérales des teneurs absolues en kaolinite et montmorillonite, sont à relier essentiellement aux fluctuations du taux d'argile granulométrique.

A ***Garango I*** on constate, au contraire, une augmentation importante des taux relatifs de montmorillonite de l'amont vers l'aval (fig. 41).

Le contraste le plus fort existe entre les deux sols bruns eutrophes de l'amont, d'une part, et les vertisols de l'aval, d'autre part. Et ce contraste est certainement à relier en premier lieu à la plus grande basicité de la roche mère sur la moitié aval de la séquence. Le rôle prépondérant d'une variation, même faible, des caractéristiques de la roche mère dans la composition minéralogique de la fraction argileuse de ces types de sols vient d'être mis récemment en lumière au Sénégal, par BLOT et LEPRUN (1973).

Toutefois, l'influence de la position topographique du profil apparaît de façon, il est vrai, plus ténue que celle de la roche mère, lorsque l'on examine séparément les segments de versant G_I1-G_I2 et G_I3-G_I4, chacun d'eux correspondant à une roche mère de composition minéralogique sensiblement constante. On constate alors que l'aval de chaque segment est un peu plus montmorillonitique que l'amont.

Les cartes d'isovaleurs de la montmorillonite et de la kaolinite en % de la terre totale (fig. 41 et 43) synthétisent cette double influence. Le maximum absolu de montmorillonite se situe à l'aval et à proximité de la surface du sol. Il se sépare donc totalement du maximum de l'argile granulométrique qui, rappelons-le, est situé à l'amont (fig. 30). Le maximum de kaolinite est à l'amont, plus précisément au tiers supérieur de la pente et dans la partie médiane du profil. Il coïncide avec le domaine le plus argileux.

Ces cartes montrent donc nettement l'existence d'un domaine amont où prédomine la kaolinite, et d'un domaine aval à dominance de montmorillonite. Mais on doit retenir que la pente n'est que l'un des facteurs intervenant dans cette différenciation latérale.

3. Conclusions

La montmorillonite apparaît massivement à la base de tous les profils des toposéquences monotones, lors des premiers stades de l'altéroplasmation. Elle diminue en valeur relative au bénéfice de la kaolinite vers la surface et cela de façon d'autant plus accentuée que la roche-mère est moins basique (Tassamakat et Garango I amont). Ces conclusions sont voisines de celles que PAQUET (1969) a tirées de l'étude de nombreux sols bruns eutrophes et vertisols développés sur des roches cristallines d'Afrique de l'Ouest.

L'influence de la topographie apparaît à peu près nulle en zone sahélienne. Elle ne se manifeste, et de façon assez discrète, qu'en zone soudanienne.

L'analyse micromorphologique nous a montré avec certitude, au moins pour les toposéquences de Garango I et de Soffokel, que le plasma argileux dérive, dans ces sols, de l'altération in situ des minéraux primaires. L'illuviation, très limitée, ne fait que transporter de faibles quantités d'argile de haut en bas et sur courte distance. Les spectres minéralogiques de la fraction fine reflètent donc essentiellement les résultats de l'altération des minéraux primaires à divers niveaux du profil.

La multiplicité des facteurs susceptibles d'intervenir dans la genèse de ces minéraux argileux ne permet pas d'isoler l'influence de chacun d'eux à l'aide d'un si petit nombre de sites d'études. L'analyse de nombreux cas simples, où seul l'un des facteurs varie, permettra d'aller plus avant en ce domaine. BLOT *et al.*, (1973) nous ont donné un bel exemple de ce type d'étude en ce qui concerne le facteur roche mère. L'étude du rôle de la pente ou du climat, à l'aide de couples d'observations ne différant que par l'un ou l'autre de ces facteurs, risque toutefois d'être plus difficile à réaliser.

Cependant, l'ensemble de nos résultats, complétés par les nombreuses observations effectuées lors de la cartographie pédologique systématique, permettent de proposer certaines conclusions auxquelles ont d'ailleurs déjà abouti, à quelques nuances près, de nombreux autres auteurs :

1. Dans la zone tropicale à saisons contrastées, à pluviosité actuelle inférieure ou égale au mètre, les premiers stades de l'altération des roches granitiques à grain fin ou moyen, libèrent un mélange de montmorillonite et de kaolinite, le premier minéral dominant sur le second. Et, à pluviosité égale, cette dominance est d'autant plus accusée que la roche mère est plus basique (KALOGA, 1966 ; PAQUET, 1969 ; BOULET, 1970).

2. L'accroissement de la proportion relative de kaolinite et la diminution corrélative de celle de montmorillonite vers le sommet du profil peuvent être attribués aux modifications des conditions de microdrainage à l'échelle de l'horizon et même du cristal en cours d'altération (TARDY, 1969 ; TARDY *et al.*, 1973), plutôt qu'à l'altération différentielle des minéraux primaires (TARDY, 1969). L'amélioration de ce drainage vers le sommet du profil (cf. variation de la porosité du sol brun eutrophe de Garango I, fig. 12) favorise la formation de la kaolinite et limite celle de la montmorillonite.

3. A plus grande échelle, la pente, par ses relations avec le drainage du sol, influe sur la composition minéralogique de la fraction argileuse en favorisant à l'amont la genèse de la kaolinite et à l'aval celle de la montmorillonite (NYE, 1955 ; JACKSON, 1959, 1965 ; PAQUET, *et al.*, 1961 ; BISWAS *et al.*, 1966 ; GAWANDE *et al.*, 1967 ; GOSS et ALLEN, 1968 ; GORBUNOV 1969). Mais cette influence n'est pas perceptible dans la zone sahélienne où la pluviosité est inférieure à 500 mm et les pentes très faibles (< 1 %). Elle ne se manifeste qu'en région plus humide (Garango, 900 mm de pluviosité) où la pente est également légèrement plus forte (2 à 3 %). On notera que les facteurs climat et pente sont, dans ces régions, malaisés à distinguer (BOULET, 1970).

4. Les variations latitudinales, qui intègrent, comme on vient de le souligner, à la fois le climat et la pente, montrent que la montmorillonite augmente en valeur relative quand la pluviosité diminue. Ainsi, à Tassamakat, bien que le granite soit plus leucocrate que la migmatite de Garango I, la proportion de montmorillonite est nettement plus élevée en haut de pente

que dans le sol brun eutrophe amont de Garango I. Cette relation est devenue classique en Afrique de l'Ouest (BOCQUIER, 1968, 1971 ; PAQUET, 1969) et apparaît également dans d'autres régions chaudes du monde (MILNE, 1935 ; POLYNOV, 1952 ; BARSHAD, 1966 ; GLAZOVSKAYA, 1968 ; FADDA, 1968 ; DAN *et al.*, 1973).

B. LES MINÉRAUX ARGILEUX DANS LES TOPOSÉQUENCES CONTRASTÉES : fig. 45 à 49

1. La toposéquence de Diébiga (fig. 46-47)

(a) LE PROFIL AMONT D1

La fraction fine de l'horizon C arénacé comporte un mélange de montmorillonite et de kaolinite (fig. 46). A 3 m de profondeur, la montmorillonite est très largement dominante (90 %), puis elle diminue vers le sommet au bénéfice de la kaolinite. L'illite est à l'état de traces. Nous avons là, au sein de cette arène à structure conservée qui constitue le matériau originel du sol ferrugineux sus-jacent, un spectre minéralogique semblable à celui qui caractérise l'ensemble du profil d'un sol brun eutrophe (cf. G_I1 fig. 41) ou d'un solonetz (cf. fig. 44). Les variations de la cristallinité de la montmorillonite en fonction de sa teneur relative sont également identiques. Mais à ce niveau, la quantité d'argile entrant en jeu est faible, inférieure à 7 % en poids de la terre globale.

L'analyse micromorphologique nous a montré que, dans cet horizon, les biotites sont pratiquement seules à libérer du plasma argileux, et fournissent ainsi l'essentiel du stock d'argile granulométrique. Ces biotites s'altèrent directement en montmorillonite (ISMAIL, 1970 ; TSAWLASSOU, 1971 ; NOVIKOFF *et al.*, 1972) en profondeur, là où la porosité de l'arène est fine et faible et, de ce fait, le milieu confinant. Elles fournissent de la kaolinite vers le sommet de l'horizon arénacé, où la porosité s'élargit et se développe, entraînant une amélioration du drainage. A ce niveau, la montmorillonite subordonnée à la kaolinite peut être, soit un souvenir du stade d'altération profonde antérieur, soit le résultat de l'altération de biotites situées en des points où le micro-drainage est déficient. Étant donné que la quantité absolue de montmorillonite augmente légèrement vers le haut, aussi bien pour un poids donné de sol (graphique D1, fig. 47) que pour un volume constant (dans 100 cm^3 de matériel, il y a environ 4 g de montmorillonite à 3 m et 5 g au sommet de l'arène soit à 180 cm), il est probable que ces deux interprétations sont l'une et l'autre à retenir.

Le taux de montmorillonite, aussi bien absolu (D1 fig. 47) que relatif (D1 fig. 46), diminue rapidement dans l'horizon BC, puis s'annule à la base du B, en même temps que l'illite, jusqu'alors présente à l'état de traces, devient mesurable. Cette modification correspond d'une part à un élargissement de la porosité, donc à un accroissement de la perméabilité du matériel pédologique. L'amélioration du drainage ne permet plus la genèse de la montmorillonite et provoque même peut-être la destruction du faible stock constitué dans l'arène. Elle correspond d'autre part à une altération importante des feldspaths, jusqu'alors très discrète et dont les produits restaient captifs des cristaux de minéraux primaires. Cette altération massive des feldspaths libère la séricite présente dans les cristaux, et cette séricite, plus ou moins pulvérisée, apparaît alors dans l'argile granulométrique sous forme d'illite. L'accroissement important des teneurs absolues en kaolinite au même niveau montre que l'altération des feldspaths s'effectue par kaolinisation.

Un nouveau changement se manifeste dans l'horizon A_2 superficiel, avec l'apparition des minéraux interstratifiés de type I — (10-14M) — M (PAQUET, 1969). Nous verrons plus loin que ces minéraux se forment dans les milieux les plus lessivés des toposéquences contrastées.

(b) L'HORIZON LESSIVÉ A'_2 (PROFILS D4 A D12, FIG. 46 ET 47)

Nous savons, grâce à l'étude morphologique, que l'horizon A'_2 se diffère de haut en bas à partir des horizons BC puis B du profil amont. Le passage de ces horizons initiaux à

l'horizon lessivé se traduit, du point de vue minéralogique, par l'apparition de minéraux interstratifiés I — (10-14M) — M en faibles quantités. A Diébiga, si l'on considère les graphiques de la figure 46, on est amené à admettre que les minéraux interstratifiés se développent aux dépens du stock d'illite des horizons initiaux, puisque l'apparition des interstratifiés est exactement compensée par la diminution de l'illite, la kaolinite restant constante à travers tout le profil. Cette évolution s'effectuerait alors par ouverture puis transformation de l'illite (Paquet, 1969). Une telle transformation semble faire appel à un mécanisme défini par Tardy (1969) et qualifié de « dégradation-agradation ». La transformation de l'illite consiste ici en un lessivage progressif des cations basiques, avec enrichissement relatif du feuillet en silicium ; on parvient alors à des édifices gonflants de type I — (10-14M) — M.

La composition minéralogique de la fraction fine des horizons A_2, A'_2, puis A_2-A'_2 se maintient sans modification appréciable, tant en valeur relative qu'absolue, jusqu'à l'aval de la chaîne.

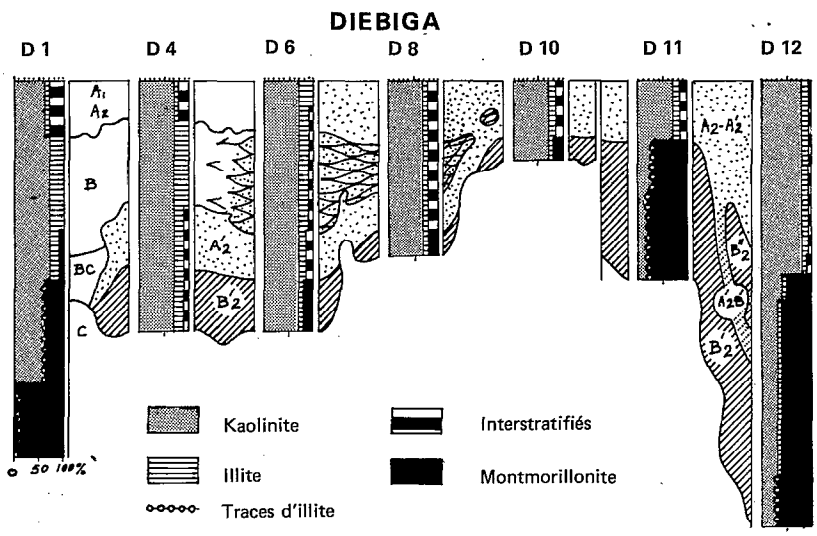


Fig. 46. — Composition minéralogique de la fraction argileuse.

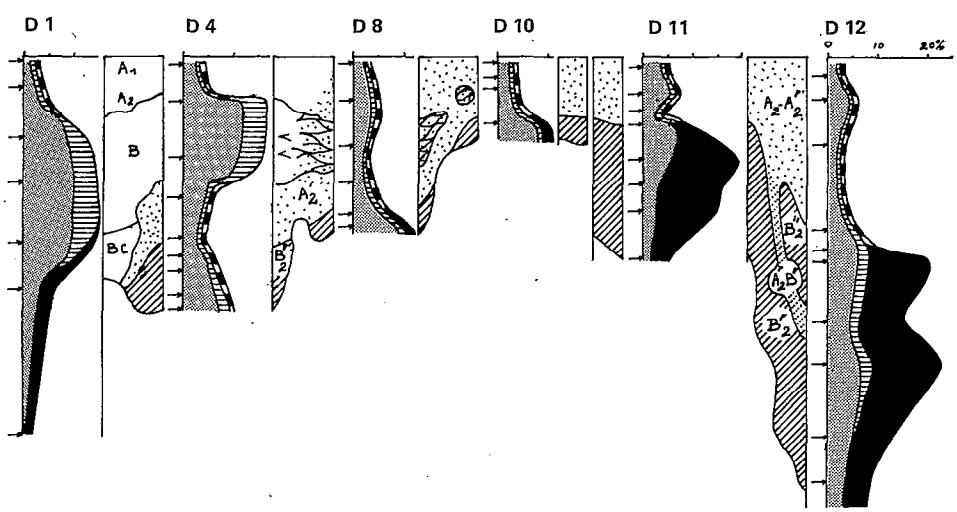


Fig. 47. — Abondance des divers minéraux argileux % de la terre totale.

(c) Les horizons illuviaux B'_2 et B''_2 (profils D4 à D12 fig. 46 et 47)

Dans la toposéquence amont, l'horizon B'_2 est discontinu, piégé par les irrégularités du sommet de l'arène. Dans les corps illuviaux situés le plus à l'amont, on ne constate aucune modification minéralogique par rapport au A'_2. Les proportions des divers types de minéraux argileux restent les mêmes (D4 fig. 46). Seules les teneurs absolues augmentent avec le taux d'argile granulométrique (D4 fig. 47).

A partir du profil D6, situé à mi-pente (cf. fig. 17), les interstratifiés sont brusquement remplacés, et dans des proportions sensiblement identiques, par de la montmorillonite médiocrement cristallisée. Cette identité des teneurs relatives en interstratifiés dans l'horizon A'_2 et en montmorillonite dans le B'_2, la mauvaise cristallinité de cette dernière, suggèrent que la montmorillonite du B'_2 est issue de la transformation des interstratifiés gonflants nés dans l'horizon lessivé, transformation dont elle constitue le terme ultime. Cette montmorillonite prend place dans le milieu plus confiné que constituent les corps illuviaux périodiquement submergés. La progression du couple A'_2 — B'_2 de l'aval vers l'amont, mise en évidence lors de l'étude morphologique fait que les corps illuviaux sont de plus en plus anciens à mesure que l'on va vers l'aval. Aussi, les corps illuviaux à interstratifiés de l'amont apparaissent-ils comme des stades juvéniles des corps à montmorillonite mal cristallisée situés plus à l'aval, ce que confirme la transformation des interstratifiés en montmorillonite mal cristallisée.

Dans la toposéquence aval, l'horizon B'_2, devenu continu, est à large dominance de montmorillonite bien cristallisée sur toute son épaisseur. Dès lors, il n'y a plus de relation apparente entre les taux relatifs ou absolus des interstratifiés de l'horizon A_2-A'_2 et ceux de montmorillonite du B'_2. Si les variations absolues de la kaolinite (profils D11 et D12 fig. 47) restent analogues à celles que l'on observe dans les profils amont entre A'_2 et B'_2, et sont encore attribuables à l'illuviation, l'augmentation importante des taux de montmorillonite fait probablement intervenir des mécanismes nouveaux tels que la néoformation. Ce problème sera repris plus en détail au paragraphe 3.

L'horizon B"2 est semblable du point de vue minéralogique au B'_2 aval : l'accroissement absolu de la kaolinite y est faible, tandis que celui de la montmorillonite est à lui seul à l'origine de l'essentiel de l'enrichissement en argile de l'horizon B''_2 par rapport au A_2-A'_2.

Un fait important à noter est que la composition minéralogique de la fraction argileuse de l'horizon A'_2B' est identique à celle des horizons illuviaux qui l'encadrent (fig. 46 profil D12). Nous reviendrons sur la signification de cette similitude dans les paragraphes suivants.

2. La toposéquence de Garango II (fig. 48 à 50)

(a) Variations verticales : fig. 48

Nous retrouvons, avec quelques variantes, à Garango II les principaux faits mis en évidence à Diébiga :

— Les minéraux interstratifiés apparaissent en même temps que l'horizon lessivé A'_2. Ils restent partout subordonnés à la kaolinite.

— Les minéraux interstratifiés, associés à la kaolinite à l'extrême amont de l'horizon illuvial inférieur B'_2 ($G_{II}6$) sont remplacés en proportions sensiblement égales par la montmorillonite dès le profil $G_{II}8$.

— Les horizons en langue (B''_2 à B''''_2) contiennent de la montmorillonite.

— Les horizons A_2B ne se distinguent pas par leur spectre minéralogique des horizons illuviaux qui les encadrent.

Mais, par sa complexité plus grande, que l'on a déjà assimilée, lors de l'étude morphologique, à une différenciation plus poussée, la toposéquence de Garango II présente également des différences avec celle de Diébiga et nous livre des faits nouveaux :

— Le profil initial de l'amont comporte une fraction fine essentiellement kaolinique.

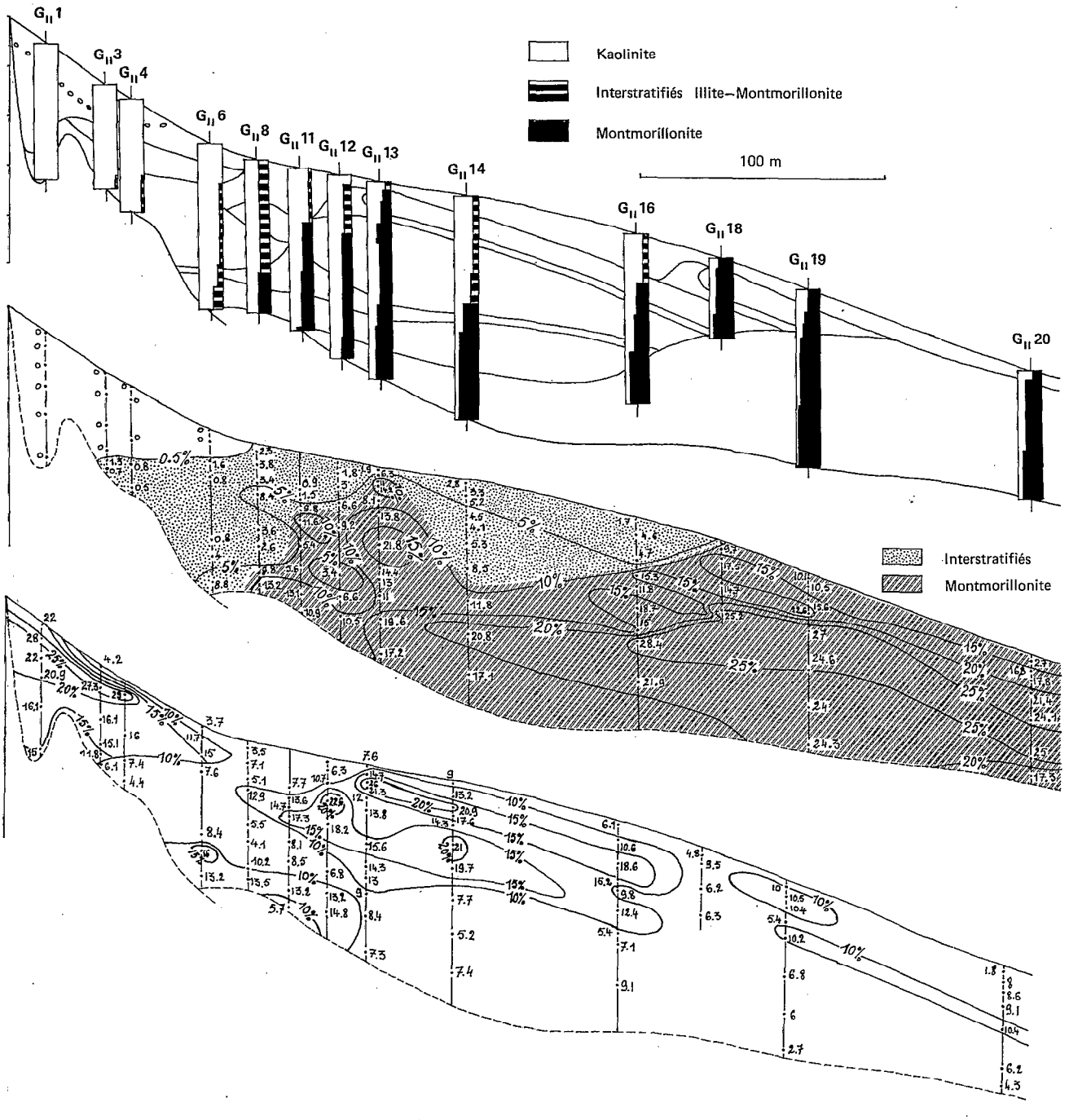


FIG. 48. — Garango II. Composition minéralogique de la fraction fine.
FIG. 49. — Courbes d'isovaleurs des teneurs en interstratifiés ou en montmorillonite % de la terre totale.
FIG. 50. — Courbes d'isovaleurs des teneurs en kaolinite % de la terre totale.

L'illite (non représentée sur la fig. 48) n'existe qu'à l'état de traces[1]. La roche mère elle-même, broyée, ne livre que de la kaolinite (les minéraux amorphes, décelés en lame mince, sont trop peu abondants pour perturber significativement les diffractogrammes).

— Les minéraux interstratifiés, qui constituent 10 à 40 % de la fraction fine de l'horizon A'_2, ne peuvent donc plus dériver exclusivement de l'illite. Nous verrons quelle peut être leur origine au paragraphe II — B.

— Les horizons d'accumulation en langue ne sont pas uniformément montmorillonitiques. Ce minéral disparaît de leur partie médiane, au moins pour les horizons les plus développés (B''_2 et B'''_2).

— Les sols de l'aval présentent un spectre minéralogique identique à celui des sols des toposéquences monotones. Mais on notera qu'il n'y a pas, de ce point de vue, de différence significative entre les sols à polysequum les plus aval, tels que $G_{II}18$ et $G_{II}19$ et le sol brun eutrophe vertique $G_{II}20$.

(b) LES CARTES D'ISOVALEURS DES TAUX DES DIVERS MINÉRAUX ARGILEUX :

La kaolinite : FIG. 50

A l'amont, dans le domaine initial, les courbes isovaleurs de la kaolinite sont évidemment strictement identiques à celles des taux d'argile granulométrique, puisque ce minéral est seul représenté.

Vers l'aval, les maximums relatifs de la kaolinite sont calqués :

— d'une part, sur la partie amont de l'horizon illuvial inférieur B'_2 ;
— d'autre part, sur les horizons d'accumulation en langue.

On constate donc une concordance assez étroite entre les domaines illuviaux et les maximum de kaolinite.

L'isovaleur 10 % délimite également un maximum relatif dans le domaine d'altération aval. Cette courbe est alors parallèle à la surface topographique et se situe vers le milieu de l'horizon B. La localisation médiane de ce maximum résulte concurremment de l'accroissement relatif de la kaolinite par rapport à la montmorillonite de la base vers le sommet du profil d'une part, de l'appauvrissement en argile de la partie supérieure du sol d'autre part.

Les interstratifiés et la montmorillonite : fig. 49

Ces deux minéraux étant en fait exclusifs l'un de l'autre, ils figurent sur la même carte.

— Les isovaleurs des ***interstratifiés,*** peu nombreuses (0,5 et 5 %) étant donné la faible abondance de ces minéraux (d'où une gamme de variation étroite), reflètent assez fidèlement les isovaleurs des taux d'argile granulométrique :

- La courbe 0,5 % coïncide avec la limite amont du domaine lessivé (courbe 10 % pour l'argile granulométrique),
- La courbe 5 % coïncide avec la limite du domaine illuvial à l'amont (courbe 10 % pour l'argile granulométrique) et lui est parallèle à l'aval.

— ***La frontière*** entre le domaine des interstratifiés et celui de la montmorillonite, bien que toute entière contenue dans le domaine illuvial (défini morphologiquement ou granulométriquement), ne suit pas les limites de ce dernier. ***Si l'illuviation argileuse précède nécessairement, dans ces toposéquences, l'apparition de la montmorillonite, elle ne constitue pas une condition suffisante à cette apparition.*** D'autres facteurs interviennent que l'on tentera d'isoler plus loin.

1. La teneur en illite doit être considérée comme un héritage de la roche mère où la source principale d'illite est constituée par la séricite formée dans les feldspaths par rétrodiagenèse (la muscovite est absente de nos roches mères), LELONG et MILLOT, 1966. En conséquence la variabilité des teneurs en illite ne sera pas discutée.

— ***Les maximum de montmorillonite*** se superposent toutefois aux principaux maximums d'argile granulométrique. Ils sont localisés :

- A la tête et à la racine des horizons B en langue les plus développés (B''_2 et B'''_2) où ils coïncident partiellement avec des maximums de kaolinite.
- Dans le domaine d'altération aval où ils sont séparés du maximum de kaolinite.

3. Première approche de la dynamique des minéraux argileux dans les toposéquences contrastées

Les faits qui ressortent de l'étude de la répartition des minéraux argileux dans les toposéquences contrastées permettent d'avancer un certain nombre de remarques, quant à la dynamique de ces minéraux ou à leur rôle dans les mécanismes mis en jeu :

1. La fraction argileuse des horizons initiaux, susceptible d'être redistribuée secondairement par lessivage profond, est à large dominance ou même exclusivement constituée de kaolinite. On rappellera qu'à Diébiga amont, la montmorillonite n'est présente en proportions élevées que dans l'arène qui n'est justement pas affectée par l'horizon A'_2 (observations à rapprocher de celle de KARPOFF, 1973). Deux exemples ne suffisent certes pas pour affirmer qu'il s'agit là d'une condition nécessaire au déclenchement du lessivage profond. Cependant, le corollaire a été plus souvent vérifié. En effet, que ce soit lors de l'étude de toposéquences ou au cours de la cartographie pédologique, nous n'avons jamais observé d'horizons A'_2 se développant à la base d'horizons B montmorillonitiques.

Il semble donc que, si l'on considère des horizons d'altération (ou altéro-illuviaux) à taux de montmorillonite croissant, il existe un seuil au-delà duquel le lessivage total, qui donne naissance aux horizons A'_2, ne peut plus se produire. Si ce seuil existe effectivement, on ne pourra le cerner que lorsque l'on possèdera une collection suffisamment riche et variée de toposéquences contrastées ou du moins de sols à polysequum comportant encore une partie du sequum initial.

2. Les conditions physico-chimiques qui règnent dans le A'_2 déterminent la formation de minéraux interstratifiés. L'illite, lorsqu'elle est présente en quantités appréciables, est susceptible de fournir ces interstratifiés par dégradation. L'augmentation en valeur absolue des interstratifiés dans la partie amont de l'horizon B'_2 montre que ceux-ci sont susceptibles d'être lessivés et illuviés au même titre que la kaolinite. Mais, dans les structures illuviales où ils se maintiennent (amont de l'horizon B'_2 et, à Garango II, partie médiane des horizons B''_2 et B'''_2), ils n'atteignent jamais des teneurs absolues élevées. Celles-ci restent inférieures à 10 % de la terre totale.

3. Dans l'horizon B'_2, les minéraux interstratifiés, qui persistent à l'amont, se transforment vers l'aval en montmorillonite mal cristallisée. Ce fait apparaît clairement à Diébiga grâce à l'existence d'une suite de corps illuviaux distincts les uns des autres, où l'on peut mettre en évidence successivement : l'illuviation en B'_2 d'un mélange de minéraux argileux à composition identique à celle de la fraction fine du A'_2, puis la disparition des interstratifiés du B'_2 et leur remplacement à proportions égales par de la montmorillonite. Le même fait ressort de l'étude de la toposéquence de Garango II, mais de façon moins démonstrative par suite de la continuité latérale des horizons illuviaux.

4. Dans le domaine illuvial, et particulièrement dans les horizons B_2 en langue :

a) L'apparition massive de montmorillonite bien cristallisée est nettement plus importante que celle résultant des transformations minéralogiques mentionnées ci-dessus.

b) S'il est entièrement compris dans le domaine illuvial tel qu'il a été défini granulométriquement, le « front de montmorillonitisation » (fig. 49) est indépendant de l'intensité de l'accumulation argileuse. Ainsi :

— Les domaines les moins illuviés, tels que les horizons A_2B, peuvent contenir un taux relatif de montmorillonite aussi élevé que ceux des horizons B_2 qui les encadrent.

— La partie médiane des horizons B''_2 et B'''_2 de Garango II est, au contraire, dépourvue de montmorillonite.

Or trois hypothèses seulement peuvent être avancées quant à l'origine de la montmorillonite du domaine illuvial aval :

— La montmorillonite est ***illuviée*** en même temps que les autres minéraux argileux.

— La montmorillonite résulte de la ***transformation*** des minéraux interstratifiés nés dans l'horizon lessivé.

— La montmorillonite est ***néoformée*** dans le domaine illuvial.

La première hypothèse, en plus du fait que l'origine de la montmorillonite reste mystérieuse, est en contradiction avec l'absence manifeste de corrélation entre l'importance de l'illuviation et la présence ou l'absence de ce minéral (voir ci-dessus — b).

La seconde hypothèse a déjà été vérifiée, mais le mécanisme qu'elle propose est incapable de fournir la totalité de la montmorillonite du domaine illuvial.

La troisième hypothèse s'impose donc en complément de la précédente. Le front de montmorillonitisation délimite le domaine où les conditions du milieu géochimique sont favorables à cette néoformation. Or le milieu géochimique est avant tout sous la dépendance de la composition des eaux interstitielles. On conçoit dès lors que ce milieu puisse manifester une certaine indépendance vis-à-vis des structures illuviales.

Le problème de l'origine des matières premières nécessaires à la synthèse de la montmorillonite n'est toutefois que repoussé par la troisième proposition. Ces matières premières peuvent être en effet soit apportées en solution, soit trouvées sur place dans les minéraux primaires résiduels du squelette ou même dans les minéraux secondaires illuviés. Ce problème sera envisagé à plusieurs reprises dans les chapitres suivants.

5. Compte tenu des réserves émises dans le paragraphe précédent, il n'en reste pas moins que, dans le domaine d'accumulation argileuse, l'illuviation précède la montmorillonitisation dans l'espace et dans le temps, que celle-ci se produise par transformation ou par néoformation. Et cette illuviation accumule essentiellement de la kaolinite, puisque la répartition de ce minéral, au contraire de celle de la montmorillonite apparaît directement liée à l'intensité de l'illuviation.

II. MINÉRALOGIE DES SABLES

La détermination quantitative des minéraux primaires de la fraction sableuse a été limitée au quartz, aux feldspaths potassiques et aux plagioclases. Les dosages ont porté, soit sur la fraction sableuse totale (Garango I, Tassamakat, Garango II), soit sur diverses fractions granulométriques (Diébiga). Ils ont été réalisés par diffraction des rayons X au Laboratoire de l'Institut de Géologie de Strasbourg, sous la direction de F. WEBER, selon la méthode mise au point par WEBER et LARQUÉ (1973).

A. LA MINÉRALOGIE DE LA FRACTION SABLEUSE DES TOPOSÉQUENCES MONOTONES : fig. 51 à 53

Les spectres minéralogiques des sables des divers profils de ces toposéquences présentent une grande analogie. Leurs caractères communs peuvent être résumés comme suit :

— La fraction feldspathique globale diminue assez régulièrement de la base vers le sommet du profil (ou seulement de l'horizon B), tandis que la proportion de quartz augmente corrélativement.

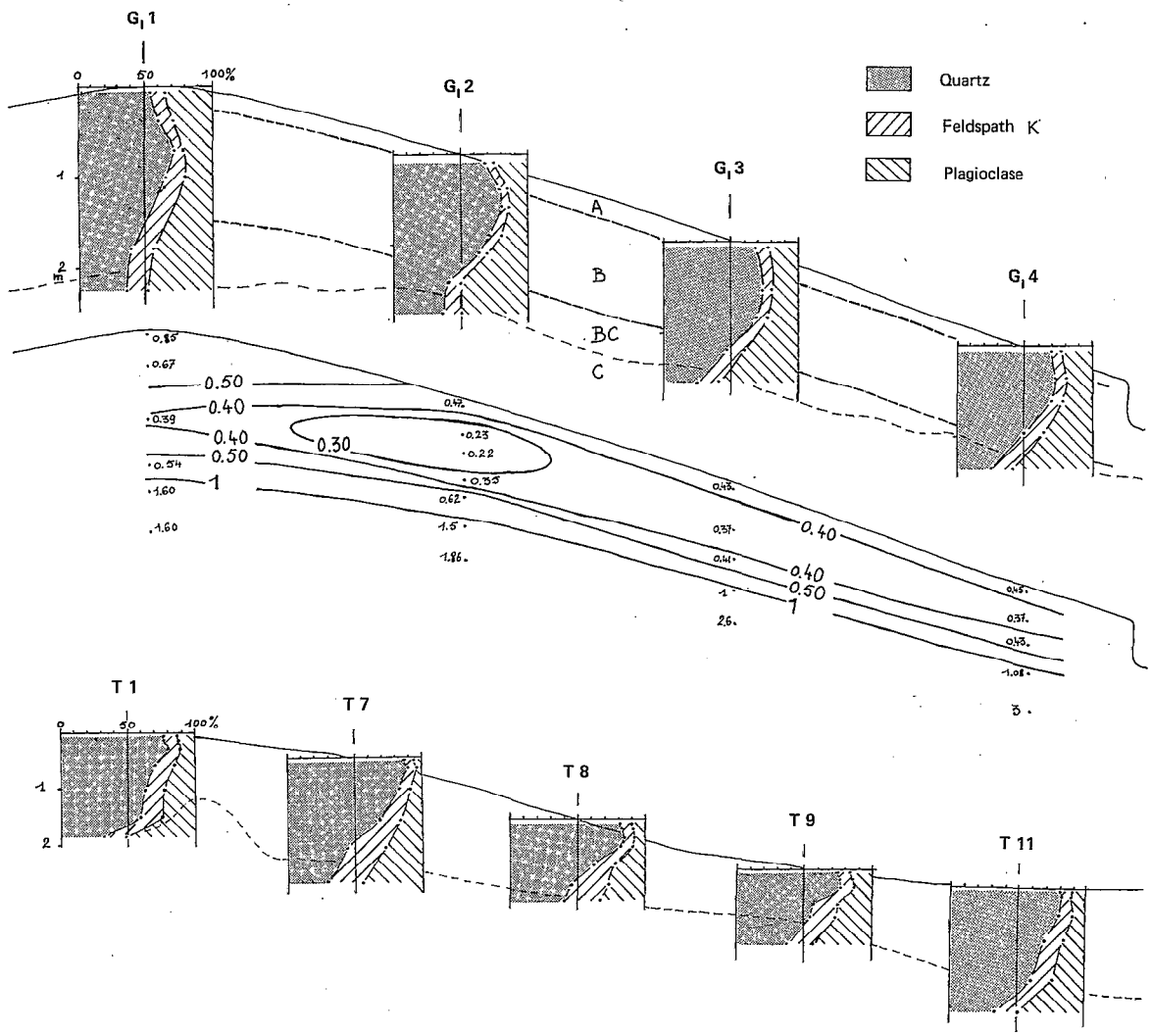


FIG. 51. — Garango I. Composition minéralogique de la fraction sableuse.

FIG. 52. — Garango I. Isovaleurs du rapport $\frac{\text{feldsp.} + \text{plagio.}}{\text{quartz}}$

FIG. 53. — Tassamakat. Composition minéralogique de la fraction sableuse.

— Cette diminution porte principalement sur les plagioclases, qui apparaissent ainsi comme les plus altérables des feldspaths, ce qui est conforme à leur place dans la séquence de GOLDICH (1938).

— Si l'on compare ces spectres minéralogiques à ceux des diverses fractions granulométriques (fig. 30 et 31), on constate que la décroissance des taux de feldspath correspond assez sensiblement à l'augmentation des teneurs en fraction fine. Cette relation analytique vient renforcer les preuves micromorphologiques de la formation in situ du plasma argileux à partir des minéraux altérables dans les horizons BC et B des sols des toposéquences monotones. Elle supplée à ces preuves, lorsque celles-ci nous ont fait défaut (toposéquence de Tassamakat).

— De façon générale, le taux de feldspath augmente de nouveau entre le sommet de l'horizon B et la surface du sol.

Des différences se manifestent toutefois quant à l'évolution minéralogique de la phase résiduelle vers le sommet du profil :

— On retrouve tout d'abord une variation latitudinale déjà notée lors de l'étude de la granulométrie et de celle de la minéralogie de la fraction argileuse : à l'uniformité des spectres minéralogiques du squelette des profils de Tassamakat (zone sahélienne), s'oppose la modification progressive, de l'amont vers l'aval, des mêmes spectres à Garango I (zone soudanaise).

— A Garango I, le taux de feldspath est minimum dans le profil vers le tiers supérieur du B à l'amont et son accroissement vers la surface est nettement marqué ; il est minimum au sommet du B à l'aval et son accroissement vers la surface est à peine perceptible.

Si certains des faits énumérés ci-dessus s'interprêtent aisément, il en est d'autres qui nécessitent d'être discutés.

A l'échelle du profil, l'augmentation du taux de feldspath de l'horizon B vers la surface peut refléter deux mécanismes différents :

1. Apport de minéraux frais à partir d'affleurements rocheux sous l'effet de la désagrégation granulaire de la surface de la roche nue, puis du transport par ruissellement superficiel des minéraux ainsi libérés.

2. Altération préférentielle des minéraux primaires à des niveaux plus ou moins profonds du B, sous l'effet d'une humectation plus prolongée de ces niveaux.

Le premier mécanisme joue de façon certaine lorsqu'il y a des affleurements. La plus grande abondance des feldspaths dans les sables déliés superficiels des zones situées à l'aval de ces affleurements est décelable sur le terrain. L'analyse confirme que cette influence agit sur la minéralogie des horizons A. Ainsi, à Garango I, un profil situé à l'écart de la toposéquence, 10 mètres à l'aval d'une petite dalle rocheuse, comporte 60 % de feldspath en A, valeur presque égale à celle de son arène (65 %). Mais, s'il n'y a pas d'affleurement à l'amont des profils considérés, ce facteur ne peut intervenir. Tel est le cas des toposéquences de Garango I et de Tassamakat.

L'altération (ou argilification) préférentielle est susceptible de se produire de façon beaucoup plus générale. De nombreux auteurs ont conclu à l'existence de ce mécanisme dans les sols des régions sèches où le lessivage est supposé peu actif. Ils se sont basés, soit sur le calcul des variations dues à la pédogenèse par référence à des minéraux index non ou peu altérables ou à des éléments chimiques non ou peu mobiles (Barshad, 1957, 1964 ; Rode *et al.*, 1969), soit sur des observations microscopiques (Buol, 1965), soit enfin sur des mesures d'humectation. Le fait que le minimum de feldspath dans chaque profil se situe (à quelques rares exceptions près) au niveau ou au voisinage immédiat du maximum d'argile est en faveur d'une telle hypothèse. Et cette altération préférentielle serait partout assez superficielle (à la base du B columnaire ou du sommet du B prismatique) à Tassamakat, plus profonde à l'amont de Garango I puis de nouveau superficielle à l'aval de cette dernière toposéquence.

A l'échelle du versant, les variations enregistrées à Garango I permettent d'éclairer certains problèmes soulevés précédemment, tels que la localisation dans le versant du maximum textural. Pour figurer ces variations, on a utilisé le rapport Feldspath/Quartz (Bocquier, 1971 ; Karpoff, 1973). Ce rapport est d'autant plus faible que l'altération du squelette est plus poussée. La carte d'isovaleurs de la figure 52, comparée à celle de l'argile granulométrique (fig. 30), montre que le maximum absolu d'argile (horizon B du profil G_T2) correspond à un minimum du rapport F/Q, donc à une altération maximum du squelette minéral. Voici confirmée, une fois de plus, la liaison étroite entre altération et teneur en argile dans ces toposéquences monotones (nous verrons qu'il en est tout autrement dans les toposéquences constrastées).

D'une façon plus générale, la ressemblance est très nette entre la carte d'isovaleurs de l'argile granulométrique et celles du rapport F/Q (les maximums de l'un correspondent aux minimums de l'autre), montre qu'une altération préférentielle se produit à certains niveaux du

profil et dans certains domaines du versant et qu'elle joue un rôle dans la différenciation des maximums texturaux.

Si l'on tient compte maintenant de la minéralogie de la fraction fine (fig. 41 à 43), on constate qu'il existe une relation inverse entre la profondeur du maximum d'altération (F/Q minimum) et la richesse du profil en montmorillonite. Autrement dit, plus le profil est montmorillonitique, plus ce maximum d'altération est superficiel.

Ceci suggère que, dans les profils les plus kaoliniques (amont), la perméabilité est suffisante pour permettre l'installation d'un régime hydrique favorisant l'altération à une certaine profondeur (80 cm en G_I1) tandis que, dans les vertisols (aval), le régime hydrique le plus favorable à l'altération est en surface. La genèse massive de montmorillonite à l'aval, imperméabilisant le sol, provoquerait d'elle-même un blocage de l'altération en profondeur.

B. LA MINÉRALOGIE DE LA FRACTION SABLEUSE DES TOPOSÉQUENCES CONTRASTÉES

1. La toposéquence de Garango II (fig. 54 et 55)

Dans le sol ferrallitique amont, on constate :

— Une diminution brutale du taux de feldspath de la roche mère à l'horizon II Bg (horizon B réticulé). Ceci correspond à l'altération intense constatée en lame mince et qui aboutit, concurremment avec les migrations d'argile, au brusque développement des structures altéro-illuviales.

— Une diminution progressive et lente de ces mêmes feldspaths jusqu'à la stone line.

— Une augmentation brusque au-dessus de la stone line, ce qui traduit l'apport par colluvionnement de matériaux frais issus du pied de l'inselberg.

Dans la phase autochtone de ce sol, située sous la stone line, on retrouve le même type de relation entre minéraux primaires et minéraux secondaires que dans les sols des toposéquences monotones : à la diminution de bas en haut du stock de minéraux altérables correspond une augmentation du taux d'argile (cf. fig. 35, graphique $G_{II}1$). Mais l'altération est nettement plus accentuée dès la base du profil et les variations ultérieures des teneurs en feldspath beaucoup plus faibles.

L'apparition de l'horizon lessivé A'2, lorsqu'il est bien installé ($G_{II}6$ et 7), entraîne par rapport aux horizons initiaux sus-jacents une diminution des feldspaths. Le rôle du lessivage dans cette variation ne peut toutefois être distingué de façon certaine d'un apport de minéraux frais par ruissellement à partir du pied de l'inselberg. En effet, si cette diminution coïncide bien avec le front de lessivage en $G_{II}7$, elle se produit un peu au-dessus en $G_{II}6$.

Une évolution minéralogique du squelette dans le domaine lessivé apparaît cependant très clairement à l'examen du spectre minéralogique de l'horizon A'_2 : alors qu'à l'amont, dans le domaine initial, le taux de feldspath diminue de la base vers le sommet du profil, dans l'horizon lessivé (et dans tout ou partie du B'_2), la teneur en feldspath est constante et même légèrement décroissante ($G_{II}6$ à 8) du sommet vers la base. Ce n'est qu'à proximité immédiate de la roche mère ou du matériau arénacé que ce taux augmente de nouveau. Nous pouvons en conclure que ***dans le domaine lessivé, le squelette subit une nouvelle phase d'altération dont le gradient est inverse de celui de la séquence d'altération initiale.*** Cette altération seconde, qui avait déjà été pressentie lors de l'étude granulométrique du squelette, reste toutefois relativement modérée. Une telle constatation apporte, en particulier, une réponse au problème de l'origine des interstratifiés dans le domaine lessivé de Garango II, problème que nous avions laissé en suspens. Les minéraux interstratifiés qui apparaissent dans l'horizon A'_2 résultent probablement de cette seconde phase d'altération.

Dans le domaine illuvial, on constate que ***l'apparition des horizons B successifs ne modifie pas la minéralogie du squelette.*** Cette invariance minéralogique du squelette entre

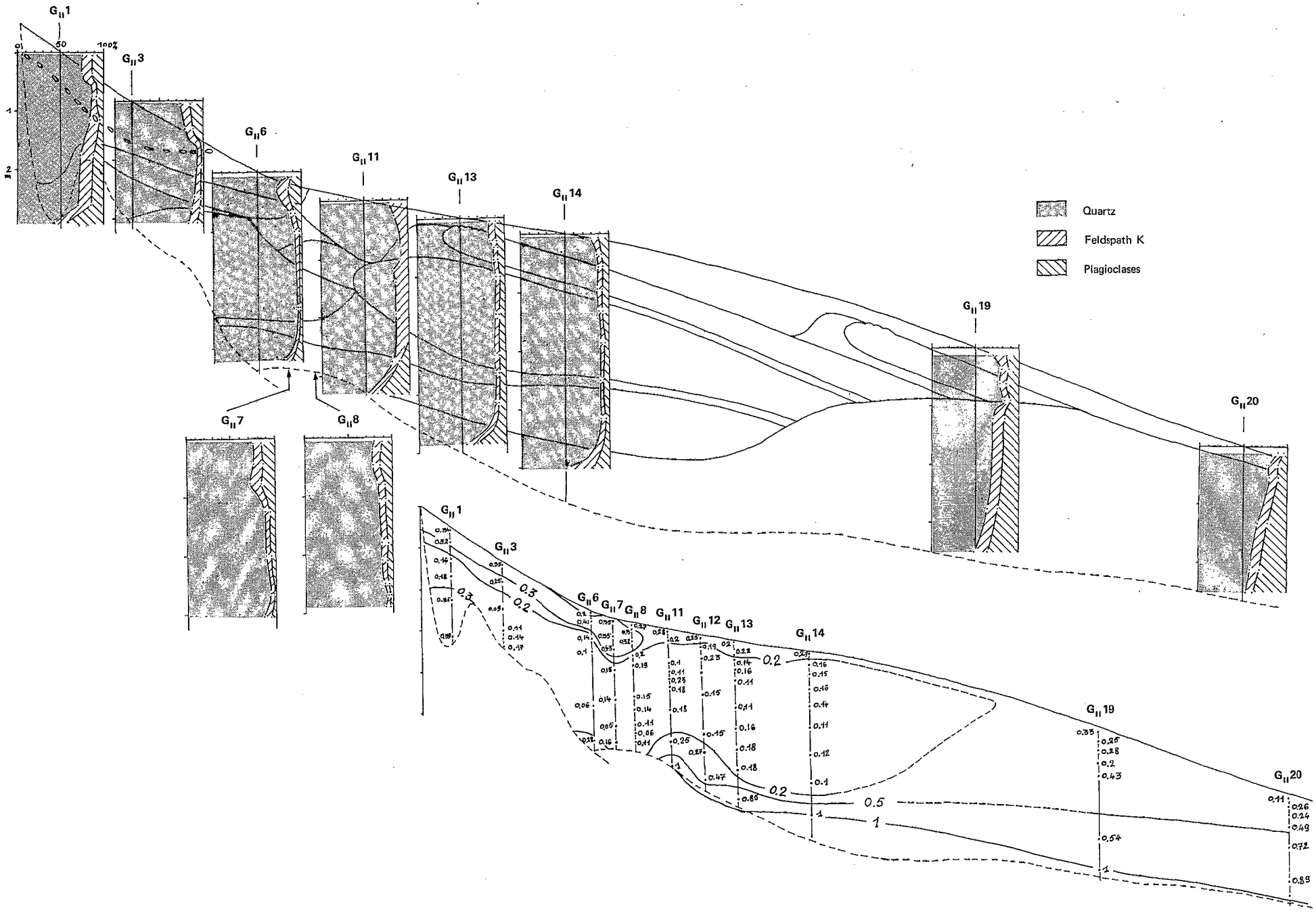


FIG. 54. — Garango II. Composition minéralogique de la fraction sableuse.

FIG. 55. — Garango II. Courbes d'isovaleurs du rapport $\frac{\text{feldsp. + plagio.}}{\text{quartz}}$

domaine éluvial et domaine illuvial a déjà été constatée par BOCQUIER (1971) et KARPOFF (1973). Le squelette n'intervient donc pas, de façon perceptible à l'analyse, dans la genèse des argiles de ces horizons. ***Et ceci montre qu'à l'opposé des horizons B des toposéquences monotones, qui tirent leur plasma argileux de l'altération in situ du squelette minéral, les horizons B illuviaux des toposéquences contrastées doivent la totalité de leur plasma argileux à l'illuviation sous forme figurée ou soluble.***

Dans le domaine d'altération (horizon BC et sols de l'aval), on retrouve le même gradient minéralogique, assorti des mêmes relations avec le gradient textural, que dans les toposéquences monotones.

La carte isovaleurs du rapport F/Q (fig. 55) est moins expressive que les spectres minéralogiques parce que, les taux de feldspath étant faibles par rapport à ceux de quartz dans l'ensemble des domaines initial amont, lessivé et illuvial, leurs variations sont atténuées par l'utilisation de ce rapport. On note toutefois que le rapport est minimum ($< 0{,}2$), donc l'altération maximum, dans la majeure partie des 3 domaines cités ci-dessus. L'aval du domaine illuvial enregistre toutefois une augmentation de ce rapport entre $G_{II}16$ et $G_{II}19$, que l'on n'a pu figurer avec précision faute de points d'analyse entre ces deux profils. Cette variation est probablement héritée en majeure partie de la séquence d'altération initiale dont la différenciation latérale résultait principalement de l'influence hydrologique de l'inselberg.

2. La toposéquence de Diébiga (fig. 56)

Trois profils seulement, appartenant à la toposéquence amont, ont été analysés. Le faible nombre de points de mesure ne permettra donc pas une étude aussi détaillée qu'à Garango II. On se contentera, ici, de souligner les analogies, d'indiquer les différences, et d'apporter quelques faits supplémentaires grâce à l'analyse de fractions granulométriques séparées et, en particulier, de celle des limons.

Analogies :

— Le profil initial de l'amont présente, jusqu'au sommet du B une diminution continue des feldspaths de même type que celle des toposéquences monotones.

— L'envahissement des profils vers l'aval par l'horizon lessivé se traduit par un redressement de la courbe séparant quartz et feldspaths. Autrement dit, le taux de feldspath tend à devenir constant dans tout le profil. Cette évolution du spectre minéralogique correspond, pour l'ensemble du profil, à une diminution des feldspaths, donc à une altération (la possibilité d'une simple fragmentation préférentielle des feldspaths sera éliminée plus loin) ; et cette altération est, comme à Garango II, croissante de haut en bas.

Différences

— Le stock de feldspaths totaux est partout plus élevé qu'à Garango II (domaine d'altération aval exclu). Ceci est dû à une altération moins rapide dans la séquence initiale d'horizons et nous montre que le type d'altération qui prévaut ou a prévalu dans cette séquence initiale se reflète dans la minéralogie du squelette à travers toute l'histoire postérieure.

— Cependant, les plagioclases disparaissent totalement à la base ou au sommet du B selon la fraction granulométrique considérée, alors qu'ils se maintiennent jusqu'en surface à Garango II. Ce dernier point restera inexpliqué.

Faits complémentaires

— On ne note pas de différence significative entre les fractions 0,2-0,25 mm et 0,4-0,5 mm. Par contre, la fraction 0,8-1 mm est plus pauvre en feldspaths. Il peut s'agir là, soit d'une différence dans la granulométrie des divers minéraux primaires, héritée de la roche mère (ceci n'a pas été perçu en lame mince) soit, plus vraisemblablement, d'un effet de la fragmentation qui affecterait préférentiellement les feldspaths dans les classes grossières.

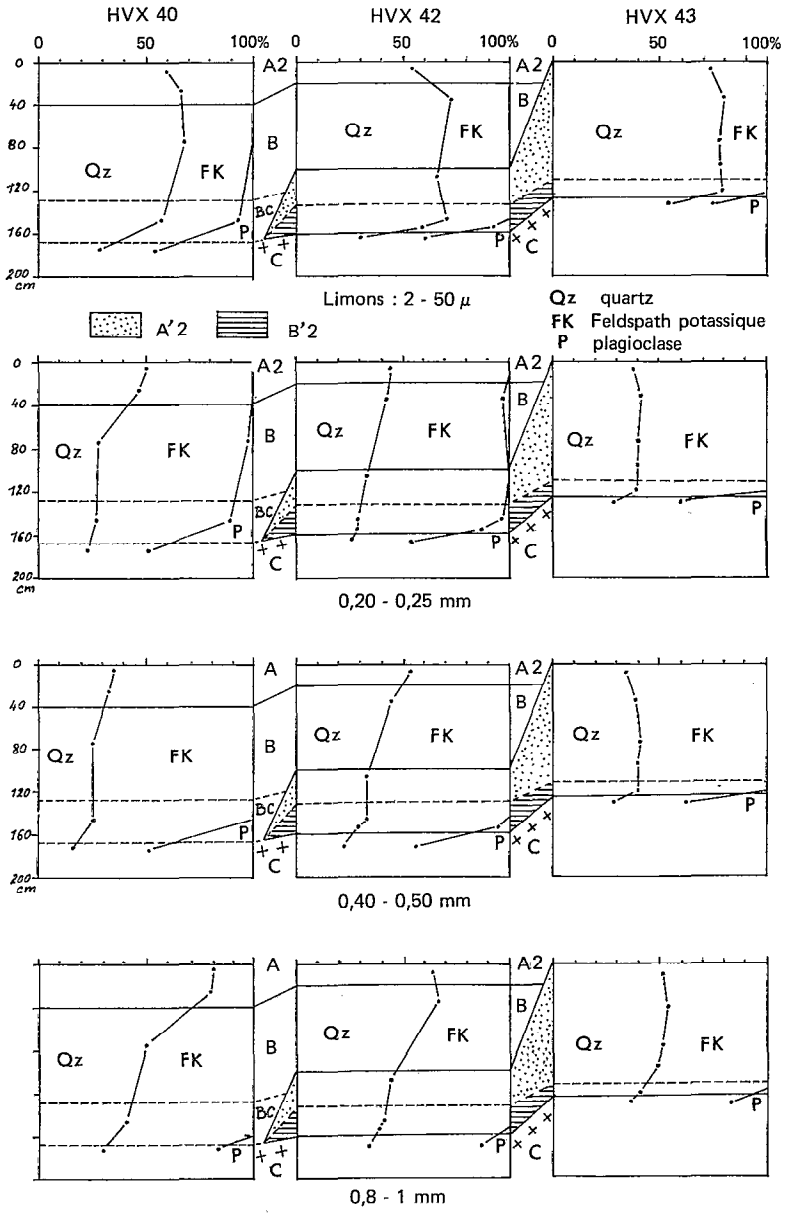


FIG. 56. — Diébiga. Minéralogie des sables.

— Les limons sont nettement plus riches en quartz que toute autre fraction granulométrique (même observation effectuée par BOCQUIER, 1971 et KARPOFF, 1973). Deux explications sont possibles sans que l'on puisse trancher :

- Les feldspaths de la fraction limon s'altèrent plus vite que ceux des fractions plus grossières.
- La microdivision alimentant les limons affecte les quartz plus intensément que les feldspaths dans les sables fins et moyens.

— La fraction limon s'appauvrit aussi en feldspaths, lorsque le profil est envahi par l'horizon lessivé. Ceci exclut que la diminution correspondante des feldspaths dans les autres

classes granulométriques soit due à une fragmentation préférentielle de ces minéraux alimentant les limons. Il s'agit donc bien d'une altération ou, éventuellement, d'une pulvérisation extrême des feldspaths, aboutissant à des particules inférieures à 2 μ, (BOCQUIER, 1971 ; KARPOFF, 1973).

C. CONCLUSIONS

Que l'on considère les toposéquences monotones ou les toposéquences contrastées, les variations des teneurs relatives en minéraux primaires caractérisent, exclusivement pour les premières, essentiellement pour les secondes, les profils d'altération.

Régulièrement décroissantes de bas en haut, à mesure que la teneur en argile augmente, dans les toposéquences monotones, ces teneurs relatives témoignent de la relation directe entre altération et genèse du plasma argileux.

Sensiblement constantes (ou légèrement décroissantes vers le bas) dans les domaines éluviaux et illuviaux des toposéquences contrastées, ces teneurs relatives sont alors principalement héritées de l'altération initiale. Elles sont plus ou moins élevées selon l'intensité de cette altération. Elles ne sont pas influencées par la nature ou l'abondance de la phase argileuse actuelle, qui résulte uniquement de la redistribution, de la transformation et de la néoformation des minéraux argileux dans le versant. Mais le stock de minéraux primaires hérité de l'altération initiale est cependant légèrement modifié sous l'effet du milieu lessivant qui règne dans le domaine éluvial.

Chapitre V

Les propriétés chimiques

I. LA MATIÈRE ORGANIQUE

Les études à caractère statistique effectuées dans les zones sahélienne et soudanaise de l'Afrique de l'Ouest (THOMANN, 1964 ; GAVAUD, 1968 ; BOULET, 1964, 1968) ont permis d'énoncer un certain nombre de règles. Ainsi a-t-on pu constater que, pour les sols bien drainés, à texture égale, le taux de matière organique augmente avec la pluviosité ; le rapport C/N tend à s'accroître dans le même sens, au moins pour les sols non cultivés ; à pluviosité égale, le taux de matière organique est d'autant plus faible que le sol est plus sableux...

Mais de telles relations ne peuvent apparaître que lorsque l'on dispose d'un lot suffisamment important de profils, comme celui que donne la cartographie systématique de vastes régions. On les rechercherait en vain dans les résultats exprimés par la figure 57 où des facteurs locaux viennent probablement les masquer.

D'autre part, l'étude des variations de la matière organique en teneur globale ou en composition (rapport C/N, teneurs en acides humiques et fulviques) s'est révélée peu utile à notre objectif qui est d'analyser les mécanismes intervenant dans la genèse des deux types de toposéquence mis en évidence en Haute-Volta et d'en rechercher le déterminisme. Cela ne signifie nullement que la matière organique ne joue pas de rôle dans ces mécanismes, mais plutôt que l'échelle à laquelle nous travaillons, ou bien les types d'analyse dont nous avons disposé, ne nous permettent pas de mettre ce rôle éventuel en évidence. Aussi se bornera-t-on à souligner les quelques faits qui apparaissent à l'examen des résultats analytiques, sans leur accorder pour autant un caractère de généralité.

— La profondeur de pénétration de la matière organique est peu variable. Dans les toposéquences monotones, elle est limitée par l'épaisseur du sol. Dans les toposéquences contrastées, la matière organique n'est plus dosable par les méthodes classiques au-delà de 2 m.

— Les teneurs les plus élevées, dépassant 1 %, s'observent dans les horizons A_1 des solonetz. Elles sont peut-être à relier à la légère hydromorphie qui affecte ces horizons. Mais le rapport C/N reste du même ordre de grandeur que dans les autres types de sol (9 à 13).

— La décroissance vers le bas des taux de matière organique est rapide (courbes concaves) dans les solonetz et dans les sols de la toposéquence de Garango II (sols d'altération aval exclus). Elle est plus lente dans les sols bruns subarides ou eutrophes (courbes convexes à leur sommet).

— Dans la toposéquence de Garango II, le taux de matière organique constitue la seule donnée analytique qui semble indifférente à la succession de plus en plus complexe vers l'aval des horizons A_2 et B_2.

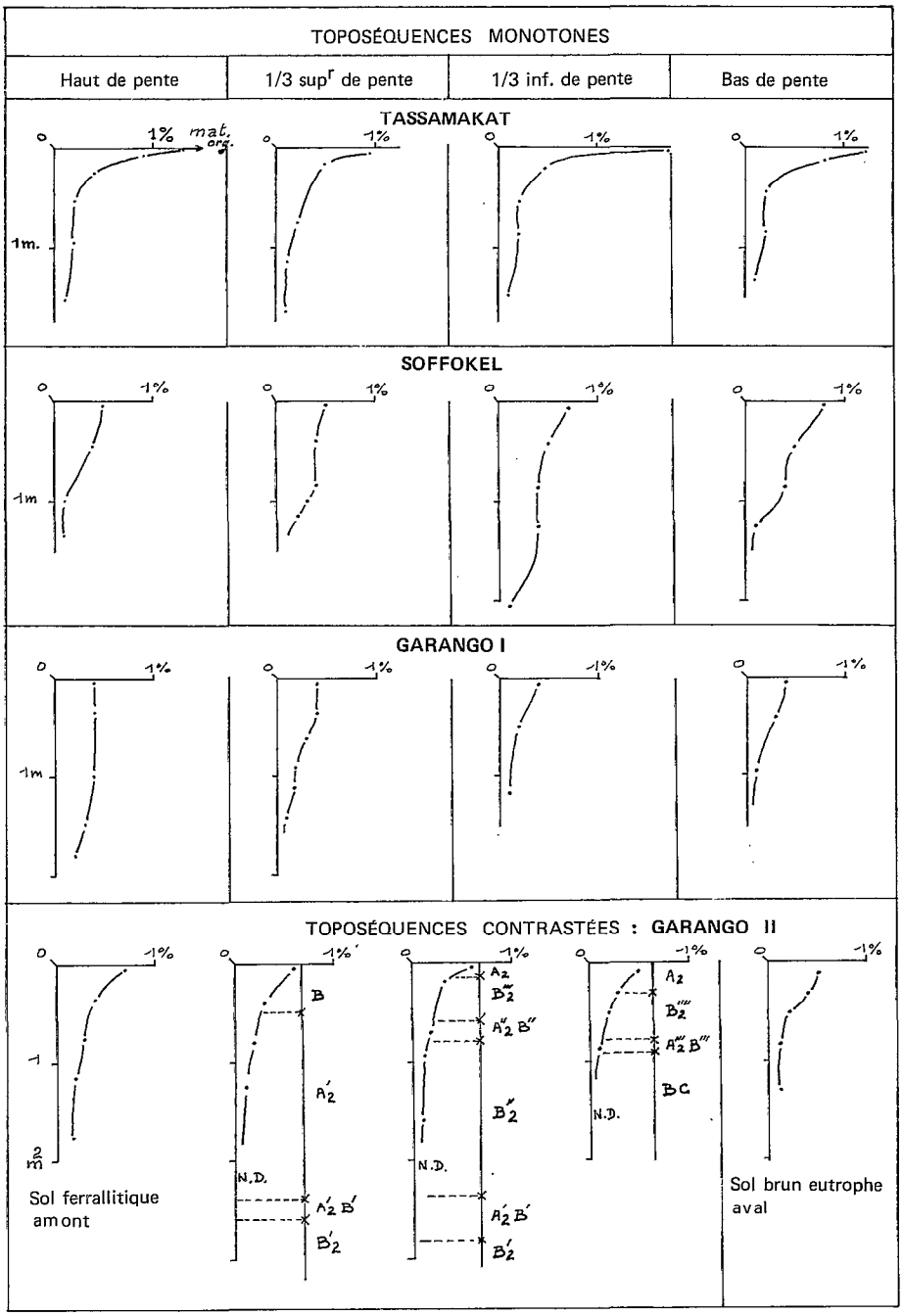


FIG. 57. — La matière organique.

— Le rapport acides humiques/ acides fulviques décroît dans l'ordre suivant : sols des régions sahéliennes (sols bruns subarides : 2 à 10, solonetz : 1,5 à 6), sols des régions soudaniennes (< 2 et le plus souvent < 1). Ceci est conforme au gradient constaté par THOMANN (1964). Le taux d'humification est par contre très peu variable. Il est compris entre 30 et 40 % sauf dans les vertisols aval de Garango I où il est égal à 10 %.

II. LE COMPLEXE ABSORBANT

A. LA CAPACITÉ D'ÉCHANGE : fig. 58

Les deux composants du sol susceptibles de retenir les ions de façon notable sont la matière organique (et principalement les matières humiques) et l'argile.

La matière organique humifiée présente une très forte capacité d'échange (200 à 400 mé/100 g) ; cependant, par suite de ses très faibles teneurs dans les sols étudiés, sa participation à la capacité d'échange du sol ne peut excéder 1 à 2 mé/100 g dans les horizons humifères ; elle est négligeable dans les horizons profonds.

La fraction argileuse intervient à la fois par son abondance et sa nature minéralogique et cette dernière joue un rôle très important puisque les deux principaux minéraux présents possèdent des capacités d'échange extrêmes (kaolinite : 10 à 20 mé/100 g, montmorillonite : plus de 100 mé/100 g — CAILLÈRE *et al.*, 1962).

On remarque que les variations de la capacité d'échange reflètent donc à la fois celles de la teneur et de la composition minéralogique de l'argile, sans nous apporter de faits susceptibles d'interprétations nouvelles quant à l'organisation et à la dynamique des toposéquences.

Ainsi, à ***Tassamakat*** où, si l'on excepte la plaine aval, on n'a pas observé de variation latérale importante ni du taux d'argile ni de la composition minéralogique de celle-ci, les isovaleurs (approximatives) de la capacité d'échange sont à peu près parallèles à la surface du sol et semblables à celles du taux d'argile granulométrique (cf. fig. 31). Cependant, les maximums de la capacité d'échange sont plus profonds que ceux de l'argile parce que la diminution de celle-ci vers le bas est partiellement compensée par l'accroissement de la proportion de montmorillonite.

A ***Garango I***, où il y a séparation du maximum d'argile granulométrique et du maximum de montmorillonite, le premier se situant à l'amont (fig. 30) le second à l'aval (fig. 42), on constate que la capacité d'échange va croissant de l'amont vers l'aval, donc qu'elle est plus fortement influencée par l'abondance de la montmorillonite que par le taux d'argile granulométrique.

A ***Garango II***, la carte des isovaleurs de la capacité d'échange dérive à la fois de la carte texturale (fig. 35) et de celle de la teneur en montmorillonite. De même que pour le taux d'argile, il est possible de définir des fourchettes de capacité d'échange pour chaque domaine :

— Domaine initial de l'amont (horizon superficiel exclu : 7-13 mé
— Domaine lessivé : < 5 mé
— Domaine illuvial : 5-17 mé
— Domaine d'altération aval 20-46 mé

Ainsi, malgré des taux d'argile analogues, et du fait de leur moindre teneur en montmorillonite, les horizons illuviaux ont une capacité d'échange nettement inférieure à celle des horizons B d'altération montmorillonitique.

Une anomalie se manifeste toutefois dans le sol ferrallitique amont, où le maximum de capacité d'échange ne coïncide pas avec le maximum d'argile, bien que nous soyons en domaine exclusivement kaolinique. A ceci il y a deux raisons possibles : d'une part l'existence, fréquente dans ce type de sol, de pseudo-particules, cimentées par de l'argile et qui résistent à la dispersion, est susceptible de minorer le taux d'argile granulométrique (CHAUVEL *et al.*, 1967, 1969) d'autre part, les minéraux primaires fissurés, qui abondent dans les domaines à structure altéro-illuviale de la base du profil, peuvent avoir une capacité d'échange non négligeable (KUNIN *et al.*, 1944).

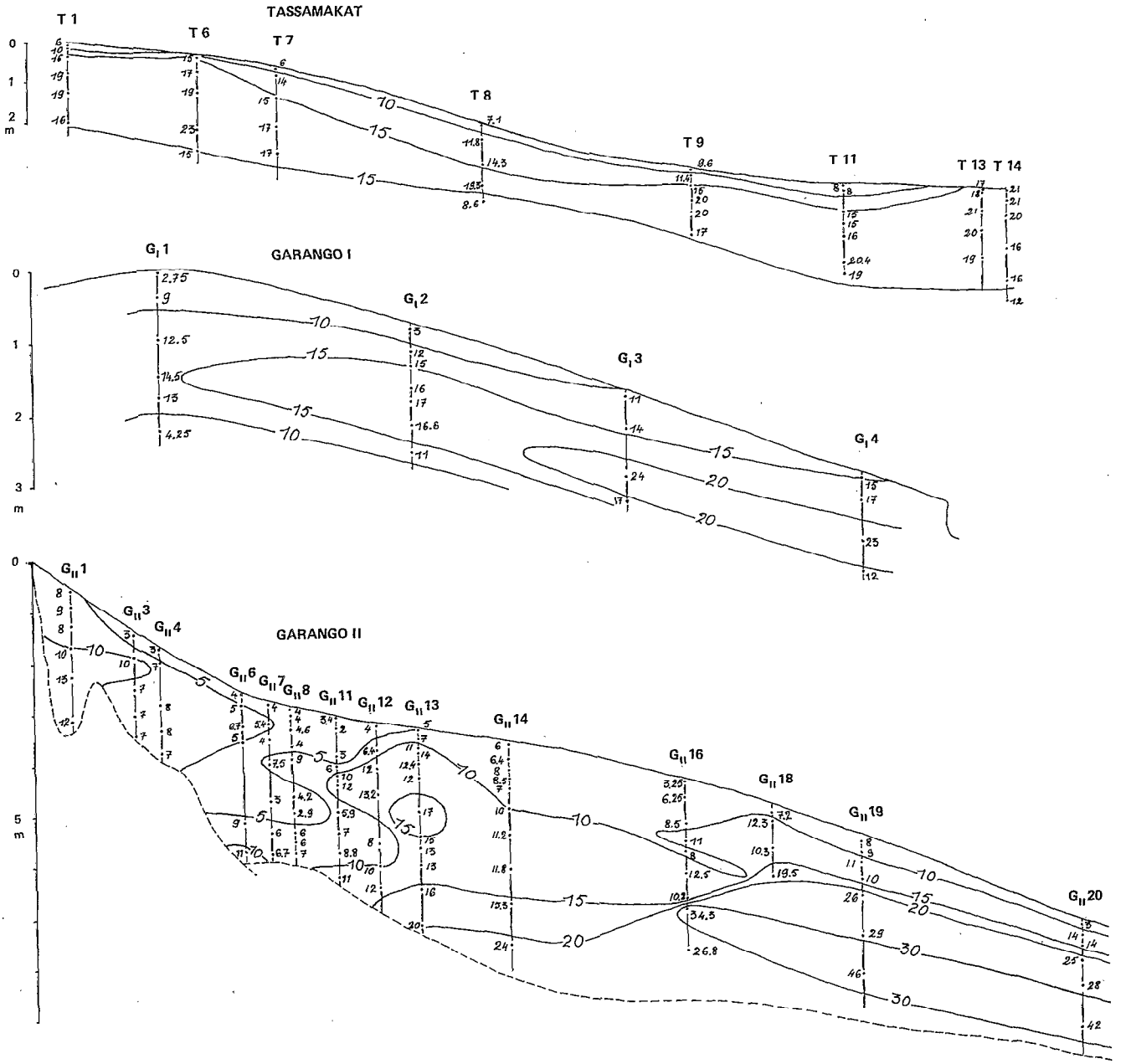


FIG. 58. — Capacité d'échange mé/100 g.

B. LE PH ET LE TAUX DE SATURATION

Le pH du sol est théoriquement en relation avec l'abondance des ions H^+ fixés par le complexe absorbant, donc avec le taux de saturation en bases. De fait, l'étude des variations concomitantes du pH et du taux de saturation nous a montré que, dans l'ensemble, ces variations sont à peu près parallèles. Ainsi, lorsqu'on localise des domaines successifs à pH croissant, ces domaines correspondent également à des taux de saturation croissants.

Toutefois, dans le détail, les variations du taux de saturation sont beaucoup moins cohérentes que celles du pH et pour deux raisons. D'abord, le taux de saturation est obtenu à partir de plusieurs dosages dont les erreurs s'ajoutent, ce qui le rend nécessairement peu précis. Ensuite, nombre de résultats sont difficiles à interpréter en fonction des autres caractéristiques physico-chimiques de l'échantillon (taux de saturation de 75 % en milieu calcaire à pH 8,3 par exemple). Il semble donc hasardeux d'attribuer une signification précise aux variations détaillées de cette donnée analytique. Compte tenu de la relation « large » soulignée précédemment entre taux de saturation et pH, on étudiera surtout ce dernier, quitte à préciser les limites entre lesquelles fluctue le taux de saturation.

1. Toposéquences monotones (fig. 59 a et b)

Dans les toposéquences monotones, les variations du pH au long de la pente ne sont pas les mêmes selon qu'on se situe en zone sahélienne ou en zone soudanienne.

A Tassamakat (zone sahélienne), les isovaleurs (approximatives) sont sensiblement parallèles, à quelques nuances près, à la surface topographique (fig. 59a). Les variations les plus importantes d'un point à un autre du versant portent sur l'horizon superficiel : l'horizon A lessivé des solonetz est moyennement acide (pH 5,6 à 6,4), tandis que l'horizon A des sols bruns ou des sols vertiques de la plaine aval est faiblement acide à légèrement alcalin (6,7 à 7,5).

L'isovaleur 8,5 coïncide assez précisément avec le sommet de l'horizon Bca, tandis que le pH continue de croître vers la base du profil jusqu'à atteindre le plus souvent des valeurs supérieures à 9. La présence de calcaire ne suffit pas à expliquer des pH aussi élevés. Ceux-ci sont dus à l'existence, dans l'horizon Bca, ***de faibles quantités de sels solubles*** qui élèvent la conductivité de l'extrait 1/10 jusqu'à 0,09 à 0,13 mmho/cm. Parmi ces sels solubles, qui comportent 90 % de bicarbonates (les 10 % restant étant des chlorures), le bicarbonate de sodium domine légèrement sur le bicarbonate de calcium (il atteint 30 à 40 mg/100 g de sol) et c'est à lui que l'on peut attribuer l'élévation du pH.

La toposéquence de Soffokel ne se distingue de celle de Tassamakat que par l'absence d'acidification superficielle (pH de l'horizon A : 6,9 à 7,6). L'horizon B des sols bruns subarides, qu'il soit ou non calcaire, a un pH élevé (8,6 à 9,2) lié à la ***présence de sels solubles analogues en quantité et en qualité à ceux des solonetz de Tassamakat.***

A Garango I (zone soudanienne) se différencie un domaine amont et superficiel moyennement acide et désaturé (taux de saturation de 70 à 80 % pour un pH variant de 6 à 6,5), tandis que la base des profils amont et toute la partie aval est saturée et à réaction neutre ou basique (fig. 59b). Cette différenciation est déjà nette entre les profils G_I1 et G_I2 dont on a vu qu'ils ont même roche mère. C'est donc la position topographique qui est principalement en cause et non la composition minéralogique de la roche mère, qui intervient toutefois vraisemblablement pour renforcer le contraste. Cela correspond à un début de lixiviation des bases à l'amont, tandis que l'aval reste saturé.

On notera que le domaine désaturé correspond assez précisément à celui où l'on a constaté une dégradation de la montmorillonite. Inversement, celle-ci n'est stable (bien cristallisée) que dans les horizons saturés ou proches de la saturation et neutres ou basiques.

Le pH des horizons calcaires est légèrement supérieur à 8 ; il correspond sensiblement au pH d'équilibre de la calcite qui est de 8,3 et l'on ne décèle pas de traces de sels solubles.

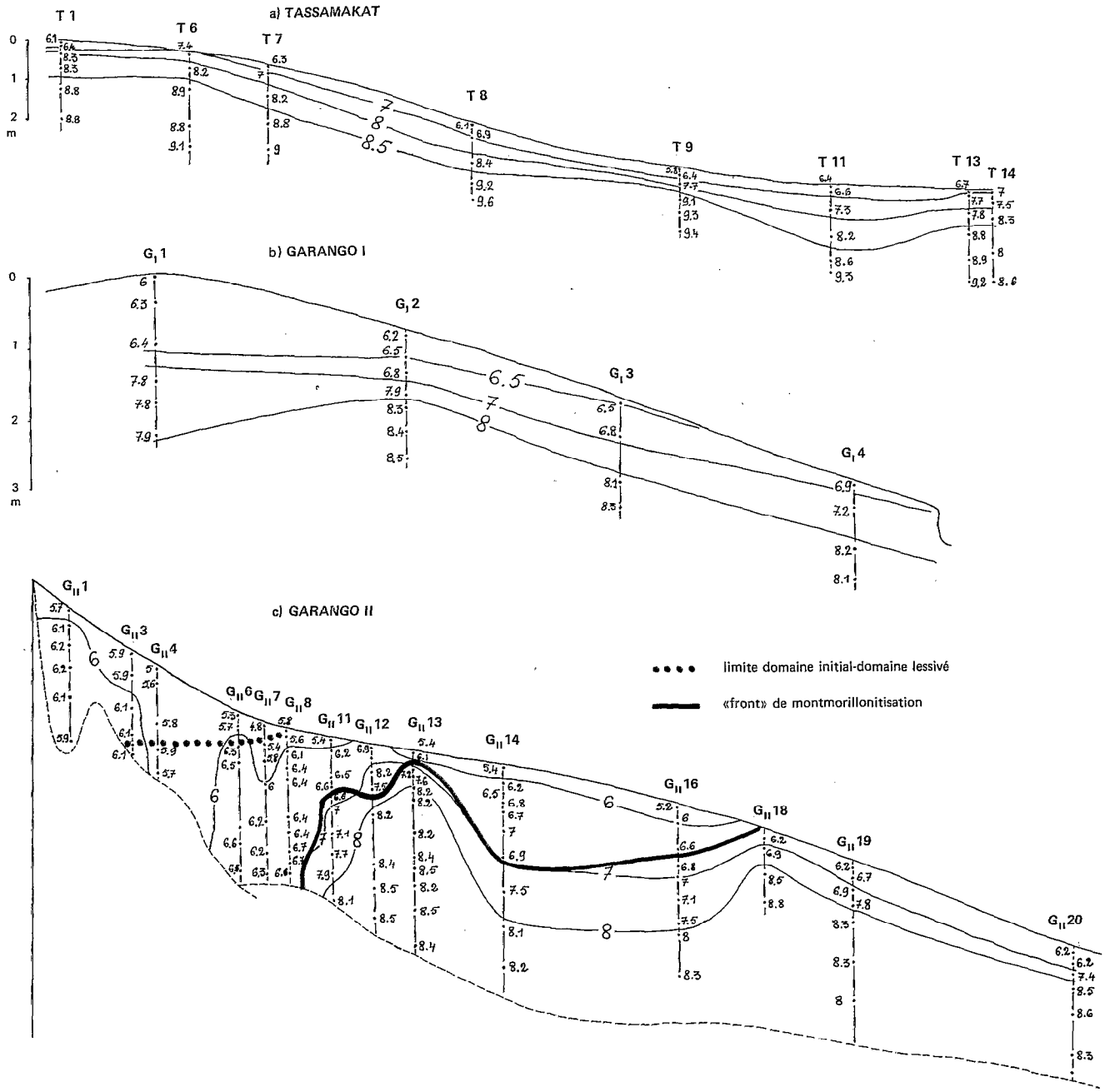


FIG. 59. — Courbes d'isovaleurs du pH.

2. Toposéquences contrastées

Seule la toposéquence de Garango II, par l'abondance des résultats dont nous disposons, permet d'établir une carte de pH avec une précision suffisante.

On constate les faits suivants (fig. 59c) :

— A l'amont, le tracé des isovaleurs est indifférent à la limite entre le domaine initial

et le domaine lessivé. Plus précisément, il n'apparaît pas que le lessivage profond modifie le pH (ni le taux de saturation) des horizons qu'il affecte. Le pH le plus bas (4.8) et le taux de saturation le plus faible (47 %) de tout le versant sont atteints dans l'horizon A_1 de la partie aval du domaine initial. Ceci nous rappelle que le lessivage de l'argile n'est pas nécessairement lié à l'entraînement des bases et souligne l'utilité de distinguer le lessivage (entraînement de certaines fractions granulométriques) de la lixiviation qui concerne seulement l'entraînement des éléments en solution (AUBERT *et al.*, 1966).

— A l'aval au contraire, on note une liaison assez étroite entre le pH et la composition minéralogique du plasma argileux : l'isovaleur 7 suit assez fidèlement le « front de montmorillonitisation », et ceci vient renforcer l'hypothèse que l'apparition de la montmorillonite dans le domaine illuvial répond à une modification du milieu géochimique et entre autres du pH et du taux de saturation.

C. L'ÉQUILIBRE DES BASES ÉCHANGEABLES

Les cations fixés par le complexe absorbant sont : Ca^{++}, Mg^{++}, K^+, Na^+ et H^+. Nous ne considérerons dans ce qui suit que les cations métalliques. L'aluminium échangeable n'a pas été dosé.

Étant donné que les divers cations ne sont pas retenus par le complexe absorbant avec la même énergie, leurs teneurs relatives pourront nous renseigner sur l'importance de la lixiviation à laquelle est soumise l'horizon. La place du sodium, cation le moins énergiquement fixé, dans la suite des cations classés par ordre d'abondance décroissante, revêt à ce propos une importance particulière. De plus le sodium est susceptible d'influer fortement sur la dispersabilité des argiles et on lui attribue couramment, lorsqu'il constitue une fraction importante des bases échangeables, un rôle majeur dans la différenciation du profil ; son abondance est appréciée à l'aide du rapport Na/T, T représentant la capacité d'échange.

1. Toposéquences monotones

(a) RÉGION SAHÉLIENNE : TASSAMAKAT ET SOFFOKEL

A Tassamakat (fig. 60a), on observe trois types d'équilibre cationique où le sodium occupe successivement le quatrième, le troisième, puis le second rang par ordre d'abondance décroissante :

— La suite Ca > Mg > K > Na est exclusive des horizons A des solonetz, qui constituent le milieu le plus désaturé de la séquence.

— La suite Ca > Mg > Na > K s'observe principalement dans les horizons B columnaires des solonetz, mais aussi dans les horizons A des sols bruns subarides intercalés, ce qui semble normal si l'on se rappelle que les seconds se forment aux dépens des premiers mis à nu par l'érosion. A cet ensemble s'ajoutent les horizons A des sols et de la plaine aval.

— La suite Ca > Na > Mg > K caractérise l'horizon B prismatique et le Bca de tous les sols de la séquence.

Ceci traduit un confinement croissant du sommet vers la base du profil, confinement qui n'est pratiquement pas affecté par la position topographique.

Le rapport Na/T croît évidemment dans le même sens. Il n'atteint des valeurs élevées (> 10 %) qu'au-dessous de l'horizon B columnaire. Les maximums de ce rapport sont assez variables d'un profil à l'autre (17 à 30 %) sans qu'un gradient latéral semble se manifester.

A Soffokel, l'équilibre des bases est, à l'exception de deux échantillons de surface où le sodium vient en dernier, du type Ca > Mg > Na > K. Mais le rapport Na/T croît du sommet vers la base du profil jusqu'à atteindre les valeurs comparables à celles des solonetz, passant de 1 à 5 % en surface à 14 à 22 % à la partie inférieure du B.

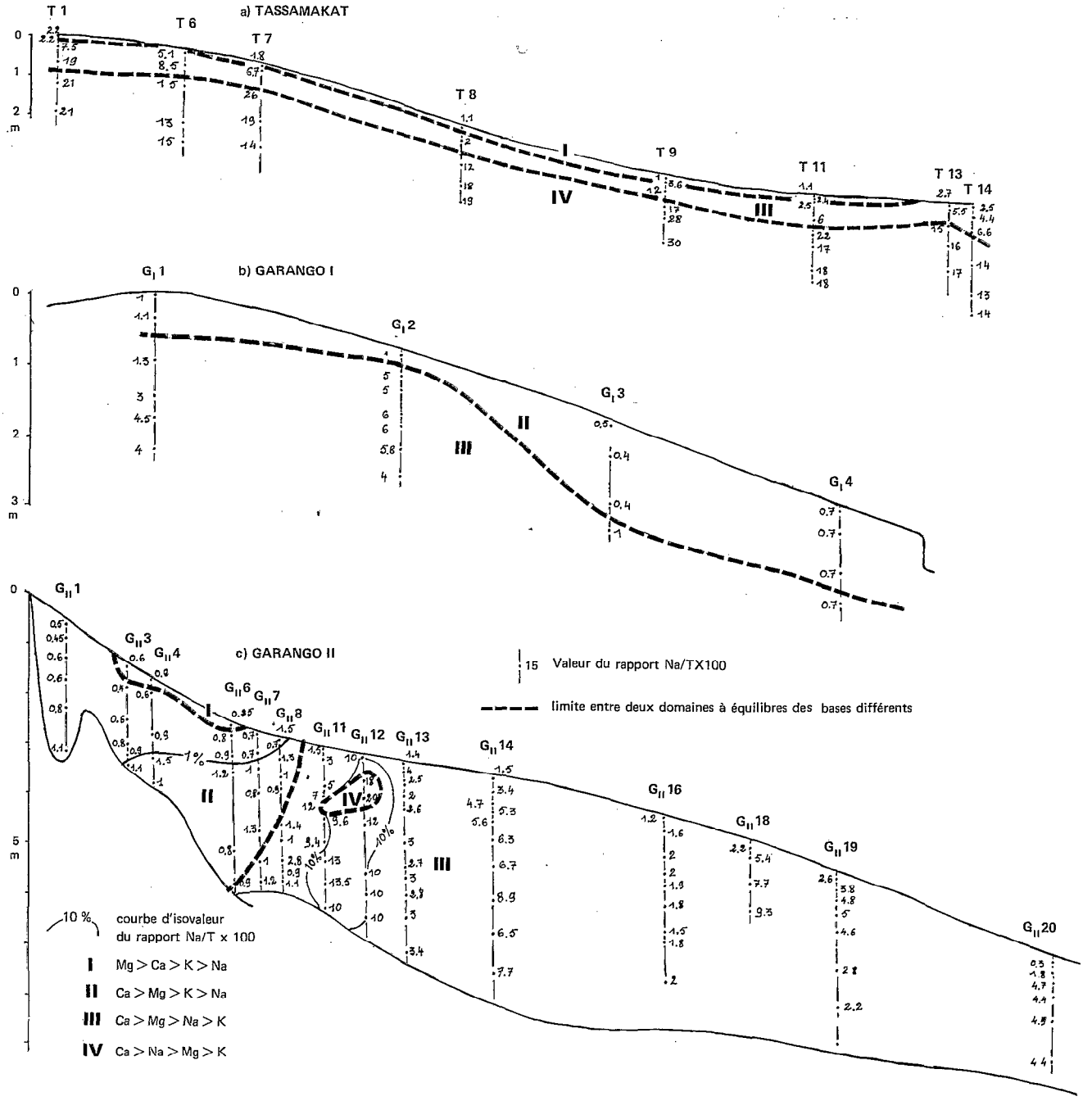


FIG. 60. — Équilibre des bases.
Rapport Na/T × 100. a) Tassamakat — b) Garango I — c) Garango II.

Remarque à propos de la relation entre la morphologie des solonetz à structure columnaire et la garniture cationique du complexe absorbant.

Les solonetz à horizon B à structure columnaire, définis morphologiquement par la superposition d'un horizon supérieur lessivé et d'un horizon B à structure en prismes à sommet arrondi, sont généralement considérés comme le résultat d'une évolution sous l'influence de

l'abondance d'ions alcalins (sodium principalement). Dans la classification française (AUBERT, 1965), ces sols font partie de la classe des sols halomorphes, caractérisée du point de vue chimique, par une conductivité de l'extrait de pâte saturée de 4 mmhos/cm à 25° (ce qui correspond à peu près à une conductivité de 0,7 mmhos/cm de l'extrait 1/10) et par une proportion de sodium (et de potassium éventuellement) échangeable supérieure à 12 % de la capacité d'échange. L'abondance du sodium faciliterait, dans le cas des solonetz, le lessivage de l'argile de l'horizon A et la formation d'un horizon B compact, largement structuré, columnaire. Les teneurs en sodium échangeable nécessaires à cette différenciation sont assez variables selon les auteurs, mais se situent le plus souvent entre 10 et 15 % de la capacité d'échange. Cependant, BOCQUIER (1964) signale que, dans les solonetz solodisés tropicaux du Tchad, ces teneurs sont sensiblement inférieures à celles généralement admises. L'origine de la forme en coupole du sommet des prismes reste mal connue. HOLMES *et al.*, (1968) estiment que celle-ci est due au gonflement différentiel du cœur et de la périphérie des prismes.

De nombreux sols du monde répondent à cette définition, particulièrement dans les régions tempérées (BOWSER *et al.*, 1962 ; BALLANTYNE *et al.*, 1964 ; CAIRNS *et al.*, 1968 ; SANDOVAL *et al.*, 1971).

Cependant, il existe des sols à morphologie de solonetz à B columnaire, qui ne sont pas alcalisés. Ces sols sont bien connus au Canada (JANZEN *et al.*, 1956), où ils sont désignés sous le terme de « Solonetz like ». BRABANT (1967) a également étudié de tels sols au Cameroun. On admet actuellement (AUBERT, comm. orale) que la morphologie columnaire puisse être liée à la dynamique de l'eau sans qu'une alcalisation intervienne.

Un certain nombre de faits, tirés de l'étude des toposéquences de Tassamakat et de Soffokel, confirme ce point de vue :

1. Les solonetz de Tassamakat ont des horizons profonds nettements alcalisés (Na/T = 17 à 30 %).

2. Les horizons B columnaires ne sont par contre jamais alcalisés (Na/T compris entre 2,5 et 6,7 %).

3. L'étude du passage des solonetz aux sols bruns et vice versa (cf. étude morphologique) nous montre que, ***dans ses conditions physico-chimiques actuelles (absence d'alcalisation)***, le sommet des horizons B des solonetz perd périodiquement sa structure columnaire par troncature superficielle, puis que celle-ci se reforme lorsque s'est reconstitué par colluvionnement un horizon supérieur sableux suffisamment épais (5 à 10 cm).

4. Les sols bruns subarides de Soffokel, bien que ne présentant pas de manifestation morphologique d'halomorphie ou d'alcalisation, ont en profondeur des rapports Na/T voisins de ceux des solonetz (et des taux de sels solubles équivalents).

De ces faits, on peut déduire que, dans les toposéquences étudiées en zone sahélienne, et, plus généralement, en Haute-Volta septentrionale (en tenant compte des résultats de la cartographie systématique), la différenciation d'une structure columnaire en B n'est pas liée à l'alcalisation du complexe, mais à la superposition d'un horizon sableux et d'un horizon plus argileux compact. Cette superposition peut être due soit au lessivage de l'argile (Tassamakat amont) soit au dépôt par le ruissellement[1] (Tassamakat, reste du versant). On peut concevoir qu'une telle superposition entraîne une circulation préférentielle de l'eau au contact de ces deux horizons et que cette circulation, étant plus prolongée dans les fentes du sommet de l'horizon argileux, favorise la dispersion de l'argile en bordure des prismes, ce qui aurait pour effet d'en émousser les arêtes, puis d'en arrondir le sommet.

Le problème du déterminisme de ce phénomène subsiste cependant puisque l'on observe, soit des sols bruns subarides tels que ceux de Soffokel, soit des sols à morphologie de solonetz (Tassamakat). Il est possible que le facteur permettant cette différenciation texturale soit

1. On a observé le même phénomène de formation de colonnettes à cortex gris sous de minces recouvrements d'origine éolienne, situés en pied de dune.

la granulométrie du matériau pédologique et, plus précisément, la taille du squelette et son abondance par rapport à la fraction fine. Ce point de vue rejoindrait celui de HALLSWORTH *et al.*, (1964).

Cependant l'alcalisation des horizons supérieurs (dans d'autres pays ou sur d'autres matériaux), en favorisant la dispersion de l'argile, son lessivage et son accumulation, est susceptible d'aboutir au même résultat. Il s'agirait d'un phénomène de convergence.

Tout ceci entraîne quelques réserves concernant la classification des sols que nous étudions.

— Les solonetz de Tassamakat devraient être dénommés, du fait de l'absence de relation entre leur morphologie solonetzique et l'alcalisation de leurs horizons profonds « sols à morphologie de solonetz » (KALOGA, 1970), ce qui serait l'équivalent du terme canadien « solonetz-like ». Nous continuerons à les appeler solonetz par souci de brièveté.

— Les sols bruns subarides vertiques de Soffokel, bien que leur alcalisation ne soit pas décelable morphologiquement, appartiennent au sous-groupe des sols bruns subarides alcalisés, au même titre que les sols bruns dérivés de Solonetz.

(b) RÉGION SOUDANIENNE : GARANGO I

A Garango I (fig. 60b,) il existe deux types d'équilibre cationique, l'un où le sodium est minoritaire, l'autre où il vient en troisième position, avant le potassium. A l'échelle de toute la séquence, il n'est pas possible d'établir de relation entre la nature de ces équilibres et le pH ou le taux de saturation comme on a pu le faire à Tassamakat et à Soffokel. En effet, le sodium est bien minoritaire dans la partie supérieure désaturée de l'amont, mais aussi dans les vertisols saturés de l'aval.

A l'échelle du segment de pente sur roche mère homogène, ou à celle du profil, l'ensemble des données devient à nouveau cohérent. Dans le segment amont (G_I1-G_I2), le sodium prend de l'importance en même temps que le pH augmente. Plus précisément, le rapport Na/T croît avec le pH quand celui-ci passe de 6 à 7 environ, puis se stabilise. Il n'y a pas d'accumulation de sodium analogue à celle observée en zone sahélienne. Dans le segment aval, pratiquement uniformément saturé (G_I3-G_I4), le rapport Na/T est très peu variable.

Ceci nous incite à attribuer la différence entre amont et aval à la variation de roche mère.

2. Toposéquences contrastées

A Garango II, il existe quatre types d'équilibre des bases (fig. 60c) :

I — Mg > Ca > K > Na : correspond au domaine le plus acide et désaturé, donc le plus vigoureusement lixivié. Ceci suggère que le magnésium est plus énergiquement fixé que le calcium par le complexe absorbant, ce qui n'est pas en accord avec les résultats classiques, l'inverse étant généralement admis (RUELLAN *et al.*, 1967). Ce type de garniture cationique existe dans les horizons A de la partie aval du domaine initial.

II — Ca > Mg > K > Na : Correspond au domaine initial et à la partie amont de l'horizon lessivé.

III — Ca > Mg > Na > K : est commun à la partie aval du domaine lessivé, à la majeure partie du domaine illuvié et au domaine d'altération aval.

IV — Ca > Na > Mg > K : ce type d'équilibre n'existe que dans une zone très limitée située en tête et à la partie supérieure de l'horizon B''_2 et à la base du $A''_2B''_2$ sus-jacent.

En ce qui concerne le rapport Na/T, deux régions particulières ont été distinguées ; la première a un rapport inférieur à 1 % et coïncide avec le domaine initial, la seconde a un rapport supérieur à 10 % et se situe à l'amont du domaine d'accumulation.

On vérifie donc ici, par référence au pH et au taux de saturation, la relation entre l'abondance relative des diverses bases échangeables et l'intensité de la lixiviation ou au contraire l'accumulation.

On constate une nouvelle fois l'indépendance entre les taux relatifs élevés de sodium échangeable et la morphologie solonetzique qui existe en $G_{II}13$ ou en $G_{II}18$. On verra par contre, au chapitre VI, que cette dernière est associée à un écoulement préférentiel au contact entre A_2 et B_2, ce qui renforce l'hypothèse émise p. 181.

Mais, résultat que ne nous apportait aucune des données antérieures, l'étude de l'équilibre des bases et du rapport Na/T montre l'existence d'un domaine d'accumulation ionique maximum situé à l'amont du domaine illuvial, et surtout à la partie supérieure de la tête de l'horizon B''_2 et juste au-dessus. Ce point d'accumulation privilégiée apparaîtra de nouveau lors de l'étude de la dynamique et de la géochimie des eaux.

D. RÉSUMÉ

A la fin de cette étude rapide du complexe absorbant, il est utile de rappeler les quelques points importants qui en ressortent :

— ***Dans les toposéquences monotones***, pH, taux de saturation, équilibre des bases, varient selon un gradient exclusivement vertical ***en zone sahélienne*** ; les horizons A des solonetz exceptés, l'ensemble de la couverture pédologique des versants est saturé et neutre à basique. L'horizon B est le siège d'une accumulation ionique importante, uniforme sur tout le versant, et qui se manifeste par un rapport Na/T élevé.

En zone soudanienne au contraire, commence à se différencier un domaine amont et superficiel légèrement désaturé et faiblement acide, qui s'oppose à un aval saturé et neutre à basique. Mais, si l'on prend comme critère les variations du rapport Na/T dans le profil, l'accumulation ionique, dans le domaine aval, est nettement moins accentuée que celle que l'on observe sur tout le versant en zone sahélienne.

— ***Dans les toposéquences contrastées :***

- Le lessivage profond des horizons initiaux ne modifie pas de façon perceptible leurs propriétés physico-chimiques (pH, taux de saturation, équilibre des bases).
- L'apparition de la montmorillonite dans le domaine illuvial est liée, entre autres choses, aux conditions de pH et de saturation du complexe.
- Un domaine d'accumulation ionique maximum se manifeste à la partie supérieure de la tête de l'horizon B''_2 et, dans une moindre mesure, à l'amont du domaine illuvial.

III. LA COMPOSITION CHIMIQUE GLOBALE DES SOLS

A. MÉTHODES ANALYTIQUES

L'étude de la composition chimique globale des échantillons est limitée aux éléments majeurs qui constituent les roches mères et les sols : silice, alumine, fer, manganèse, titane, calcium, magnésium, potassium, sodium.

Pour un petit nombre de profils (ceux auxquels sera appliqué le raisonnement isovolumétrique), le dosage de ces éléments a été réalisé au quantomètre par la méthode de spectrométrie d'émission à lecture directe mise au point par ATAMAN (1963) et ATAMAN et BESNUS

(1965). Ces analyses, effectuées à l'Institut de Géologie de Strasbourg sous la direction d'Y. Bes-NUS, ont porté sur la terre totale.

D'autres profils, plus nombreux, ont été soumis à l'analyse triacide, suivie d'une analyse totale du résidu de l'attaque triacide par attaque fluorhydrique (déterminations effectuées au laboratoire central de chimie des sols de l'O.R.S.T.O.M. sous la direction de P. Pelloux). Ces analyses ont été également réalisées sur la terre totale sauf pour les horizons Bca à nodules calcaires. Pour ceux-ci, les nodules ont été pesés, puis analysés à part, et la composition globale de l'échantillon calculée à partir de celle de la terre et des nodules.

B. APPLICATION DU RAISONNEMENT ISOVOLUMÉTRIQUE A QUELQUES SÉQUENCES D'HORIZONS

1. Principe

Le raisonnement isovolumétrique a été utilisé pour la première fois par Millot *et al.*, (1955) dans l'étude de l'altération latéritique des dunites de Conakry. Il s'applique lorsque toutes les transformations qui s'effectuent d'un horizon à l'autre se font sans modification de volume. Cette constance du volume est matérialisée par la permanence de certaines structures héritées de la roche mère et que l'on observe généralement à l'échelle microscopique. Ces structures peuvent n'être constituées que par les fantômes de minéraux primaires complètement transformés en produits secondaires, mais elles doivent former dans le matériel une charpente continue qui garantisse l'absence de tassement ou au contraire de gonflement.

Une fois vérifié le caractère isovolume, il est possible, en comparant la composition chimique d'un volume donné de matériel initial à celle du même volume de matériel transformé, de chiffrer les départs et, éventuellement, les apports correspondant à cette transformation. Dans la pratique, étant donné qu'il est souvent difficile d'être certain de l'absence totale de déformation des structures repères, on ne peut prendre en considération que des variations suffisamment importantes de la composition chimique ramenée à l'unité de volume (généralement supérieures à 10 % de la teneur initiale).

2. Séquences d'horizons à caractère isovolume

Lors de l'étude morphologique et surtout micromorphologique, on a constaté que, dans certaines séquences verticales d'horizons, le passage d'une organisation à l'autre se faisait sans modification de volume. Ces séquences, ***qui correspondent uniquement à des sols de haut de pente,*** sont au nombre de trois :

— Profil amont (G_I1) de Garango I = horizons R, C, BC, B prismatique.
— Profil amont (D1) de Diébiga = horizons R, C, BC, B rouge.
— Profil amont ($G_{II}1$) de Garango II = horizons R et II Bg (horizon réticulé).

Ces trois séquences d'horizons, malheureusement incomplètes, devraient nous permettre de dresser un bilan plus ou moins partiel de l'évolution géochimique à partir de la roche mère dans trois profils qui se répartissent dans les unités suivantes de la classification :

— Sols bruns eutrophes (G_I1).
— Sols ferrugineux (D1).
— Sols ferrallitiques ($G_{II}1$).

A ces trois types de différenciation pédologique correspondent également des suites de paragenèses argileuses distinctes allant d'un pôle où la montmorillonite est présente dans tout le profil (G_I1) à un pôle où la kaolinite est exclusive ($G_{II}1$). Ces paragenèses argileuses sont rappelées dans le tableau XV.

Tableau XV. — COMPOSITION MINÉRALOGIQUE DE LA FRACTION ARGILEUSE DES SÉQUENCES D'HORIZONS ISOVOLUMES.

		K	M	I
G_I1	B prism.	5	4	1
	BC	4	5	1
	C	3	7	tr
D1	B rouge	7		3
	BC	7	1	2
	C sommet	6	4	tr
	C base	1	9	tr
$G_{II}1$	II Bg	10		tr

3. Le sol brun eutrophe amont de la toposéquence de Garango I (G_I1) (fig. 61)

Remarque préliminaire : Étant donné qu'un fort retrait se manifeste après la mise à l'air du profil et que, ainsi qu'on l'a souligné lors de l'étude morphologique, ce retrait ne se produit jamais dans les conditions naturelles et constitue un artefact, les mesures de densité ont été faites au fur et à mesure du creusement de la fosse, avant toute dessiccation, à l'aide de cylindres à bord biseauté de 100 cm³. Les analyses ont été faites sur les échantillons ainsi prélevés (3 à 4 par niveau). Ce mode de prélèvement entraîne une certaine hétérogénéité de l'échantillon, et la persistance d'îlots plus ou moins arénacés jusqu'au sommet de l'horizon B prismatique est probablement responsable de l'irrégularité des courbes. Ainsi constate-t-on au sommet du B prismatique une augmentation simultanée des taux de Na_2O, CaO, K_2O, SiO_2, qui correspond vraisemblablement à une teneur plus élevée en feldspath due au prélèvement de domaines moins altérés. Il en est de même au sommet du BC. De ce fait, on ne tiendra compte dans ce qui suit que du sens de variation des courbes (tracé en pointillé).

D'une façon générale, les variations des teneurs en éléments majeurs, lorsqu'elles existent, sont très progressives dans l'ensemble du sol, horizon C compris. La diminution notable du taux d'alumine entre la roche saine et l'arène (horizon C), qui s'oppose à la constance de cet élément dans le profil, suggère qu'il puisse s'agir là d'une modification pétrographique de la roche mère, modification que l'on a fréquemment constatée dans ces migmatites. De même, si la variation de certains éléments entre la roche mère et l'horizon C semble prolonger celles que l'on observe dans le profil (K_2O, MgO, CaO, Na_2O, Fe_2O_3), il en est d'autres qui, soit par leur importance (SiO_2) soit par leur sens (Mn_3O_4, TiO_2) sont probablement elles aussi à relier, au moins en partie, à une variation de faciès de la roche mère.

Dans le sol, en allant de l'horizon C au sommet du B prismatique, on retiendra de l'examen de la fig. 61 :

— une perte importante de sodium et calcium ;

— une perte faible de silice, de potassium et probablement de magnésium ;

— la constance et peut-être une légère augmentation (à peine significative) de l'aluminium, du fer, du manganèse et du titane.

La progressivité de la diminution des teneurs en bases reflète celle de l'altération des minéraux primaires déjà notée lors de l'étude minéralogique du squelette. L'importance des pertes relatives en calcium et sodium s'opposant à celles, faibles, de potassium, rend compte de l'altérabilité plus grande des plagioclases par rapport au feldspath potassique. La constance du fer et du manganèse montre que ces éléments sont immobilisés dès leur libération du réseau des minéraux primaires, soit sous forme liée à l'argile (fer), soit sous forme de concentrations nodulaires (Fe, Mn) dont on a montré micromorphologiquement la formation par accrétion.

Dans la mesure où l'augmentation très faible de ces deux éléments et du titane, que semblent indiquer les courbes de la figure 61, serait significative, elle pourrait constituer une manifestation analytique de la très légère illuviation d'argile colorée observée en lame mince et d'une accumulation, également très faible, de manganèse sous forme soluble.

Malgré les réserves émises précédemment quant à la signification des variations entre roche mère et horizon C, les pertes les plus importantes, en particulier en bases, semblent se situer lors du passage de la roche dure à l'horizon arénacé à structure conservée.

4. Le sol ferrugineux amont de la toposéquence de Diébiga (D1) (fig. 61)

Dans ce profil (comme dans le sol ferrallitique de Garango II), les densités ont été mesurées sur motte, car aucun retrait ne se manifeste lors du séchage du profil. Les analyses ont été faites à partir d'échantillons de plusieurs kilos homogénéisés et quartés. On notera à ce propos la régularité des courbes correspondantes.

Passage de la roche dure à l'arène : deux faits distinguent ce profil du sol brun eutrophe précédemment étudié :

— L'arène prélevée à 3 m de profondeur est nettement moins friable que celle de G_I1.

— La roche mère de Diébiga est très homogène, au contraire de celle de Garango I.

On peut donc attribuer une plus grande signification aux variations géochimiques entre roche dure et arène dans ce profil.

Entre la roche dure et l'arène, on constate que les seules pertes concernent le calcium (75 % du stock initial) et le magnésium (58 %). La diminution de la silice (4 % du stock initial) n'est pas significative.

La diminution de la teneur en magnésium est à relier à l'altération de la biotite. On a constaté en effet qu'à la base de l'arène, la biotite est le seul minéral qui s'altère en libérant ses produits secondaires.

La perte des trois quarts du calcium, s'opposant à la conservation du sodium est plus difficile à expliquer. Elle semble montrer que le calcium est exporté préférenciellement lors des premiers stades de l'altération. En effet, on ne peut admettre qu'il s'agisse d'une variation de la composition des plagioclases qui auraient été plus albitiques dans le granite ayant donné l'arène que dans la roche dure soumise à l'analyse, car alors le taux de sodium serait plus élevé dans l'arène que dans la roche dure. D'autre part, l'invariance des autres éléments entre arène et granite confirme l'homogénéité de ce dernier. Malgré tout, un tel résultat, isolé, ne peut être généralisé.

Évolution géochimique dans l'arène et le sol

Les variations au sein de l'arène sont faibles sauf pour la silice et l'alumine, pour lesquelles on enregistre des pertes atteignant respectivement 12 et 11 %, entre 3 m et 1,8 m.

Entre le sommet de l'arène et l'horizon B rouge, on constate :

— Une perte de la totalité du calcium et de la presque totalité du sodium.
— Une perte de la moitié du potassium.
— Une perte de magnésium : 27 %.
— Une perte d'alumine : 18 %.
— Une perte de silice : 18 %.
— Une diminution importante du manganèse : 60 %.
— Un gain de fer (40 %) et de titane (55 %).

Certains de ces résultats étaient prévisibles à partir des données précédemment acquises. Ainsi, la disparition de la totalité du calcium et de la quasi-totalité du sodium traduit l'altération rapide des plagioclases constatée à deux reprises. Le sodium restant appartient probablement au réseau des feldspaths potassiques qui en contiennent toujours un peu. La diminu-

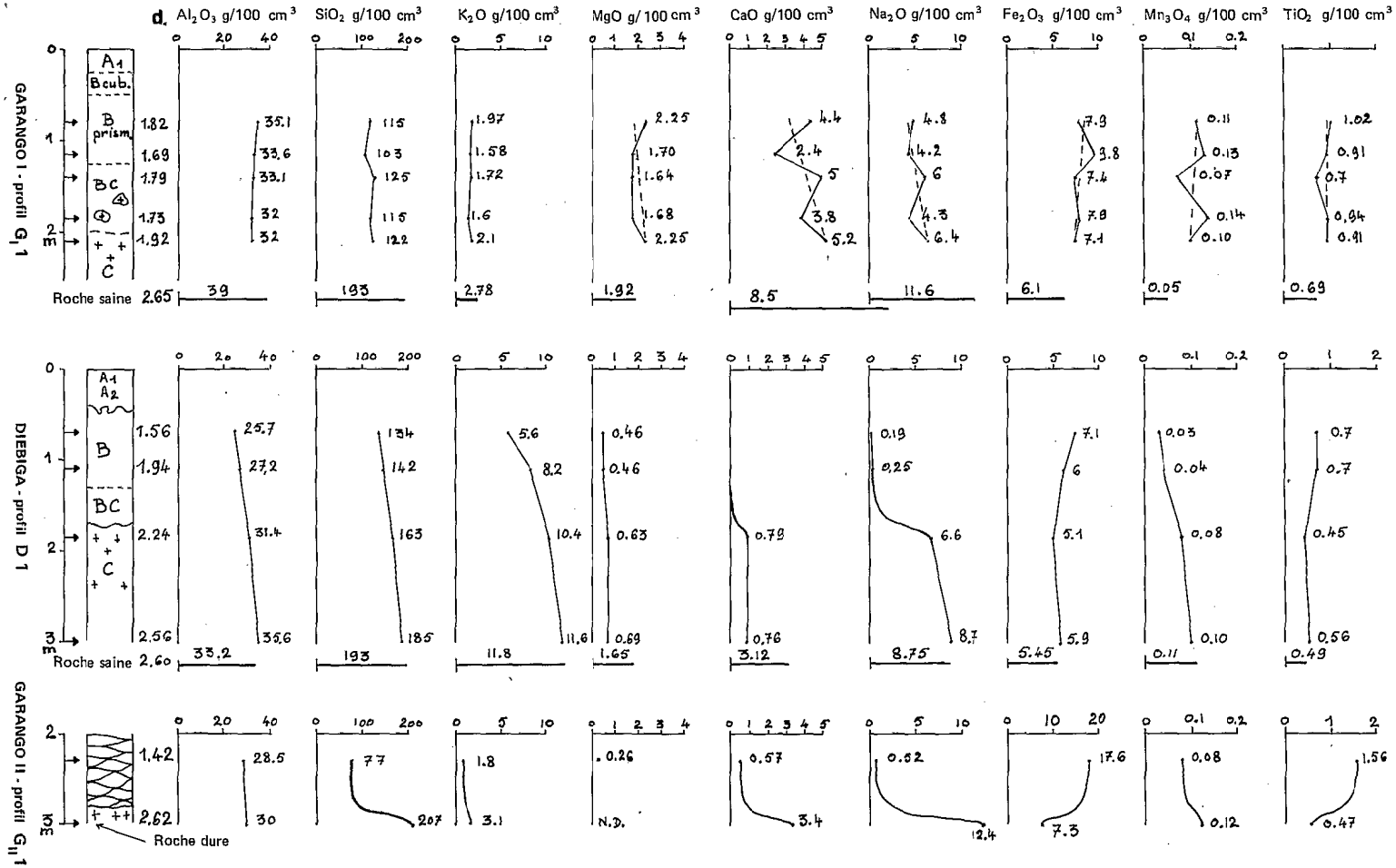


FIG. 61. — Bilan isovolumétrique dans quelques séquences d'horizons.

tion plus progressive du potassium va de pair avec l'altération plus ménagée du microcline. Les pertes de magnésium traduisent la poursuite de l'altération des biotites.

D'autres résultats apportent par contre des renseignements nouveaux :

— ***La perte d'alumine***, étant donné que cet élément n'est pas soluble dans les conditions du milieu, se fait probablement sous forme figurée. Elle suggère alors qu'une partie de l'argile néoformée est exportée du profil. Cette alumine figurée migrerait de concert avec une partie de la silice (environ un quart de la silice totale évacuée dans le cas où cette exportation se ferait sous forme de kaolinite).

Cependant, l'existence de poches lessivées à la base de ce sol et la proximité latérale de l'horizon A'_2 ne nous permettent pas de savoir si cette exportation est à rattacher à la différenciation du sol ferrugineux rouge lui-même, ou si elle est à relier aux phénomènes de soutirage provoqués par le lessivage basal, dont elle constituerait alors un signe avant-coureur. Nous verrons en effet que dans le sol ferrallitique de Garango II, qui est encore complètement isolé du domaine éluvial situé plus à l'aval, la perte d'alumine n'est pas significative.

— ***Le fer et le manganèse*** ont des comportements très différents. Le manganèse est exporté dans des proportions importantes, tandis que le fer s'accumule. Cette accumulation du fer est probablement sous la dépendance des migrations d'argile ainsi que le suggère l'observation micromorphologique (présence d'argiloferranes plus colorés que le plasma du fond matriciel).

— Les migrations de titane, qui aboutissent à son accumulation dans l'horizon B rouge, seraient elles aussi à relier aux migrations d'argile (KARPOFF, 1973).

5. Le sol ferrallitique amont de la toposéquence de Garango II (fig. 61)

La possibilité d'effectuer un bilan isovolume est ici limitée au passage de la roche dure à l'horizon réticulé. En effet, d'une part, cet horizon est charpenté par un réseau continu à « structure altéro-illuviale » où l'on a montré l'absence de déplacement du squelette par rapport à sa position dans la roche mère, donc la conservation de la structure d'ensemble. D'autre part, dans l'horizon rouge sus-jacent, ces structures altéro-illuviales ne subsistent plus qu'à l'état de reliques isolées dans un matériau rouge complètement réorganisé, donc sans structure conservée.

— En ce qui concerne le départ des bases, on ne constate pas de différence notable avec ce qui se passe dans le profil D1 de Diébiga : perte très importante de sodium et calcium ; ce qui reste correspond aux plagioclases qui persistent dans le squelette résiduel (cf. minéralogie du squelette). Le potassium diminue seulement de moitié. Les variations du magnésium ne sont pas interprétables.

— L'aluminium est à peu près constant.

— La perte de silice est considérable. Elle correspond essentiellement à la transformation des feldspaths en kaolinite.

— Le manganèse est partiellement éliminé.

— Le fer et le titane sont accumulés. Leur enrichissement par rapport à la roche mère atteint respectivement 140 % et 230 %.

L'accumulation ferrugineuse était déjà évidente lors de l'étude morphologique. En effet, dans le cortex et dans l'horizon réticulé, on constate la formation d'un plasma argileux non ou peu coloré par altération in situ, tandis que tous les vides sont bordés d'argilo-ferranes rouges. Là encore, l'argile apparaît comme le principal véhicule du fer. L'accumulation du titane, bien que non décelable morphologiquement, croît elle aussi avec la quantité d'argile illuviale à laquelle elle semble liée.

6. Résumé

La comparaison de l'évolution géochimique des éléments majeurs dans ces trois séquences d'horizons nous montre que :

— L'aluminium reste sensiblement constant, sauf dans le sol ferrugineux de Diébiga.

Il semble que, dans ce dernier cas, le soutirage par le lessivage basal puisse être à l'origine d'une exportation d'alumine sous forme d'argile.

— Les pertes de silice vont croissant du sol brun eutrophe au sol ferrallitique. Dans ce dernier, elles sont beaucoup plus accentuées et brutales que dans les deux autres types de sol.

— Les bases se scindent en deux groupes :

- Le potassium et le magnésium décroissent régulièrement du matériau vers le sommet du profil. Cette diminution, très faible dans le sol brun eutrophe, s'accentue dans le sol ferrugineux et le sol ferrallitique.
- Le sodium et le calcium, à décroissance progressive dans le sol brun eutrophe, sont brutalement exportés dès la base du sol dans les sols ferrugineux et ferrallitique. Ceci traduit la plus grande altérabilité des plagioclases par rapport aux autres minéraux primaires présents dans les granites, mais aussi leur plus grande sensibilité au type d'altération ; ainsi les plagioclases se maintiennent-ils longtemps dans les altérations montmorillonitiques, tandis qu'ils subissent une altération massive et rapide lorsque se développe la kaolinite. Cette constatation pouvait déjà être faite lors de l'étude minéralogique du squelette.

Le comportement du manganèse oppose le sol brun eutrophe où cet élément se maintient et les sols ferrugineux et ferrallitique d'où il est exporté :

— Le fer et le titane, à peu près stables, dans le sol brun eutrophe s'accumulent dans les horizons B des deux autres profils et cette accumulation croît du sol ferrugineux au sol ferrallitique en même temps que l'illuviation argileuse (notée lors de l'étude micromorphologique).

C. LE COMPLEXE D'ALTÉRATION ET LA PHASE RÉSIDUELLE

Le complexe d'altération est constitué par tous les produits secondaires qui existent dans les matériaux et les sols et dérivent des minéraux primaires de la roche mère. Souchier *et al.*, (1970) y distinguent : une fraction amorphe facilement extractible, une fraction argileuse, une fraction de minéraux primaires fortement altérée. A cette liste, on doit ajouter pour de nombreux sols une fraction cristallisée non argileuse constituée d'hydroxydes, de carbonates et, éventuellement, de sels solubles. Les mêmes auteurs analysent les différentes fractions qu'ils ont distinguées par séparations et attaques d'agressivité croissante. L'analyse triacide, qui nous était seule accessible, ne nous permet qu'une approche globale de ce complexe d'altération et, de plus, nombre de résultats indiquent qu'une partie du squelette de minéraux primaires est dissoute. Ainsi, Claisse (1968-1972) montre que le quartz lui-même est en partie attaqué par le réactif triacide ; faible pour le quartz sain, cette solubilisation est accrue lorsque le quartz est ferruginisé ; la mise en solution du quartz, négligeable pour les fractions grossières, devient sensible pour les tailles inférieures à 0,2 mm (sable fin) mais elle ne dépasse guère 5 % du stock initial. L'action de l'attaque triacide sur les autres minéraux primaires n'est pas connue, mais elle est probablement plus efficace que sur le quartz. Nous verrons en particulier que la biotite est probablement presque entièrement dissoute. En conséquence, cette analyse ne nous donne qu'une idée assez grossière (par excès) sur le complexe d'altération ; toutefois elle reste valable comme moyen de comparaison et permet de suivre de façon relative l'évolution de la phase secondaire.

De façon complémentaire, l'analyse totale du résidu non attaqué par le réactif triacide fournit la composition (approchée par défaut) du squelette résiduel. Ces résultats viendront donc en complément de l'analyse minéralogique du squelette. Ils sont exprimés en % de la terre totale.

1. Toposéquences monotones

Les résultats sont présentés sous forme de tableaux (un par élément retenu) où l'on distingue tout d'abord des données exprimées en % du poids : teneurs extraites par attaque triacide, teneurs présentes dans le résidu, teneur totale obtenue par addition des deux précédentes. La dernière colonne fournit à titre indicatif le poids en grammes de l'élément considéré dans 100 cm³ de matériel[1]. L'examen de cette dernière donnée, sans avoir valeur de raisonnement isovolumétrique, nous permettra une meilleure approche du bilan de chaque élément, particulièrement lors du passage de l'arène au sol où la variation de densité est souvent très importante.

Les résultats concernant la silice et l'alumine, qui ne nous ont pas apporté d'autres renseignements que ceux déjà collectés grâce à l'étude granulométrique et minéralogique de la fraction argileuse, ne seront pas envisagés.

(a) Les toposéquences septentrionales (zone sahélienne) : Tableau XVI

On étudiera plus particulièrement la toposéquence de Tassamakat. Les différences observées avec les sols de Soffokel seront soulignées.

Les bases montrent des comportements variés :

Le ***sodium*** diminue fortement en teneur totale lors du passage de l'arène au sol, puis subit des variations faibles et irrégulières dans le profil. L'accumulation du sodium dans l'horizon Bca, décelée dans tous les profils lors de l'étude du complexe absorbant, ne ressort de l'analyse triacide que dans le profil T_9. Mais l'essentiel des variations est lié à la composition du résidu. L'ensemble des résultats montre que le sodium libéré par altération est en grande partie éliminé du profil.

Le ***magnésium*** est principalement contenu dans la phase soluble à l'attaque triacide, les teneurs du résidu étant très faibles et à peu près constantes. On note, depuis l'arène jusqu'au sommet du profil, une diminution progressive du magnésium en haut de pente, diminution qui s'atténue vers le bas de pente pour s'annuler pratiquement dans le sol de la plaine aval. Le magnésium est donc progressivement éliminé sur le versant mais dans des proportions nettement moindres que le sodium. Il semble se maintenir à l'aval.

Le ***potassium*** présente également des variations relativement faibles mais celles-ci sont principalement liées à la composition de la phase insoluble. Dans la phase soluble à l'attaque triacide, on note, comme pour le magnésium, une diminution de l'arène vers le sommet des profils du versant, tandis que les teneurs du sol aval (T_{14}) sont à peu près identiques dans tous les horizons.

Le ***calcium*** se comporte différemment de toutes les autres bases. Il présente une accumulation nette par rapport à l'arène dans l'horizon Bca, tandis que les horizons sus-jacents sont fortement appauvris. Ces variations s'inscrivent uniquement dans la phase soluble. L'examen des teneurs totales rapportées à 100 cm³ montre que, même en admettant la possibilité d'une certaine variation de volume lors de la différenciation des horizons, ***les pertes en calcium des horizons supérieurs par rapport à l'arène sont largement susceptibles d'avoir alimenté l'accumulation calcaire dans le Bca et ceci en toute position topographique.***

Les variations des teneurs en bases du résidu montrent, si l'on considère le sodium, le calcium et le potassium, que les taux de feldspath diminuent vers le B prismatique puis augmentent de nouveau vers la surface. Cette variation avait déjà été mise en évidence par l'analyse minéralogique du squelette qui, grâce à un nombre plus élevé de points par profil, permettait de situer plus précisément le minimum au sommet du B prismatique. Dans la plaine aval, ce minimum est localisé en surface, ce qui est également conforme aux résultats de

1. La densité utilisée est celle mesurée sur motte après séchage. Comme tous les sols étudiés dans ce pragraphe contiennent des argiles gonflantes, cette densité est supérieure à celle du sol en place, ce qui va minorer les pertes et majorer les accumulations.

Tableau XVI. — Tassamakat, résultats des analyses triacide et totale.

Fe_2O_3

	Haut de pente (T4)				Tiers inférieur de pente (T3)				Plaine à val (T1,4)			
	Triac. g/100g	Résidu g/100g	Total g/100g	Total g/100cm³	Triac. g/100g	Résidu g/100g	Total g/100g	Total g/100cm³	Triac. g/100g	Résidu g/100g	Total g/100g	Total g/100cm³
A	2,30	0,08	2,38	4,34 (d=1,82)	2,20	0,04	2,24	4,03 (d=1,80)	A prismatique 4,2	0,05	4,25	8,5 (d=1,67)
B columnaire	3,40	0,06	3,46	6,8 (d=1,96)	2,50	0,04	2,54	4,95 (d=1,95)	Sommet B prismatique 4,0	0,05	4,05	8 (d=1,98)
B prismatique	4,0	0,06	4,06	8,0 (d=1,98)	3,5	0,03	3,35	7,1 (d=2,02)	3,4	0,05	3,45	6,8 (d=1,98)
Bca	4,0	0,12	4,12	8,2 (d=1,99)	3,0	0,03	3,03	6,4 (d=2,01)	2,9	0,03	2,93	5,8 (d=1,97)
Arène	1,90	0,05	1,95	4,70 (d=2,37)	1,15	0,06	1,21	2,96 (d=2,36)	1,8	0,03	1,83	4,4 (d=2,40)

MnO_2

	Haut de pente (T4)				Tiers inférieur de pente (T3)				Plaine à val (T1,4)			
	Triac. g/100g	Résidu g/100g	Total g/100g	Total g/100cm³	Triac. g/100g	Résidu g/100g	Total g/100g	Total g/100cm³	Triac. g/100g	Résidu g/100g	Total g/100g	Total g/100cm³
A	0,045	Tr	0,045	0,082 (d=1,82)	0,02	Tr	0,02	0,036 (d=1,80)	A prismatique 0,095	Tr	0,095	0,187 (d=1,97)
B columnaire	0,08	Tr	0,08	0,156 (d=1,96)	0,04	Tr	0,04	0,078 (d=1,95)	Sommet B prismatique 0,075	Tr	0,075	0,148 (d=1,97)
B prismatique	0,08	Tr	0,08	0,156 (d=1,96)	0,07	Tr	0,07	0,141 (d=2,02)	0,07	Tr	0,07	0,138 (d=1,98)
Bca	0,07	Tr	0,07	0,138 (d=1,98)	0,069	Tr	0,069	0,139 (d=2,01)	0,06	Tr	0,06	0,120 (d=1,99)
Arène	0,065	Tr	0,065	0,154 (d=2,37)	0,069	Tr	0,069	0,163 (d=2,36)	0,06	Tr	0,06	0,144 (d=2,40)

MgO

	Haut de pente (T4)				Tiers inférieur de pente (T3)				Plaine à val (T1,4)			
	Triac. g/100g	Résidu g/100g	Total g/100g	Total g/100cm³	Triac. g/100g	Résidu g/100g	Total g/100g	Total g/100cm³	Triac. g/100g	Résidu g/100g	Total g/100g	Total g/100cm³
A	0,23	0,05	0,28	0,51 (d=1,82)	0,3	0,05	0,35	0,54 (d=1,80)	A prismatique 0,59	0,03	0,61	1,2 (d=1,97)
B columnaire	0,32	0,03	0,35	0,68 (d=1,96)	0,34	0,03	0,37	0,72 (d=1,95)	Sommet B prismatique 0,54	0,03	0,57	1,13 (d=1,97)
B prismatique	0,42	0,02	0,44	0,87 (d=1,98)	0,47	0,02	0,49	0,98 (d=2,02)	0,43	0,02	0,45	0,89 (d=1,98)
Bca	0,46	0,02	0,48	0,95 (d=1,98)	0,49	0,02	0,51	1,02 (d=2,01)	0,58	0,02	0,60	1,19 (d=1,97)
Arène	0,69	0,02	0,71	1,68 (d=2,37)	0,46	0,02	0,48	1,13 (d=2,36)	0,44	0,02	0,46	1,1 (d=2,40)

CaO

	Haut de pente (T4)				Tiers inférieur de pente (T3)				Plaine à val (T1,4)			
	Triac. g/100g	Résidu g/100g	Total g/100g	Total g/100cm³	Triac. g/100g	Résidu g/100g	Total g/100g	Total g/100cm³	Triac. g/100g	Résidu g/100g	Total g/100g	Total g/100cm³
A	0,23	0,12	0,35	0,64 (d=1,82)	0,26	0,26	0,52	0,93 (d=1,80)	A prismatique 0,41	0,11	0,52	1,02 (d=1,97)
B columnaire	0,36	0,24	0,60	1,18 (d=1,96)	0,42	0,21	0,63	1,23 (d=1,95)	Sommet B prismatique 0,46	0,11	0,57	1,13 (d=1,97)
B prismatique	0,5	0,22	0,72	1,42 (d=1,98)	0,43	0,19	0,62	1,25 (d=2,02)	0,43	0,10	0,53	1,05 (d=1,98)
Bca	3,15	0,28	3,43	6,8 (d=1,98)	1,71	0,11	1,82	3,65 (d=2,01)	1,07	0,17	1,25	2,45 (d=1,99)
Arène	0,47	1,38	1,85	4,4 (d=2,37)	0,37	0,66	1,03	1,82 (d=2,36)	0,25	0,72	0,92	2,21 (d=2,40)

Na_2O

	Haut de pente (T4)				Tiers inférieur de pente (T3)				Plaine à val (T1,4)			
	Triac. g/100g	Résidu g/100g	Total g/100g	Total g/100cm³	Triac. g/100g	Résidu g/100g	Total g/100g	Total g/100cm³	Triac. g/100g	Résidu g/100g	Total g/100g	Total g/100cm³
A	0,13	0,25	0,38	0,61 (d=1,82)	0,2	1,22	1,42	2,56 (d=1,80)	A prismatique 0,15	1,0	1,15	2,26 (d=1,97)
B columnaire	0,18	1,03	1,21	2,36 (d=1,96)	0,34	1,16	1,50	2,94 (d=1,95)	Sommet B prismatique 0,15	1,0	1,15	2,27 (d=1,98)
B prismatique	0,24	0,81	1,05	2,08 (d=1,98)	0,36	0,83	1,19	2,40 (d=2,02)	0,15	1,24	1,39	2,75 (d=1,98)
Bca	0,21	1,24	1,45	2,87 (d=1,98)	0,44	1,29	1,73	3,46 (d=2,01)	0,15	1,30	1,45	2,88 (d=1,99)
Arène	0,22	4,39	4,61	10,7 (d=2,37)	0,32	4,19	4,51	10,6 (d=2,36)	0,21	4,08	4,29	10,15 (d=2,40)

K_2O

	Haut de pente (T4)				Tiers inférieur de pente (T3)				Plaine à val (T1,4)			
	Triac. g/100g	Résidu g/100g	Total g/100g	Total g/100cm³	Triac. g/100g	Résidu g/100g	Total g/100g	Total g/100cm³	Triac. g/100g	Résidu g/100g	Total g/100g	Total g/100cm³
A	0,24	1,04	1,28	2,35 (d=1,82)	0,23	1,36	1,59	2,85 (d=1,96)	A prismatique 0,46	0,67	1,13	2,25 (d=1,97)
B columnaire	0,28	0,99	1,27	2,5 (d=1,96)	0,33	1,22	1,55	3,02 (d=1,95)	Sommet B prismatique 0,45	0,68	1,11	2,20 (d=1,98)
B prismatique	0,25	0,69	0,94	1,86 (d=1,98)	0,36	0,83	1,19	2,4 (d=2,02)	0,34	0,86	1,20	2,38 (d=1,98)
Bca	0,22	0,74	0,96	1,90 (d=1,98)	0,71	0,91	1,62	3,26 (d=2,01)	0,42	1,17	1,59	2,96 (d=1,99)
Arène	0,60	1,69	2,29	5,4 (d=2,37)	0,72	2,36	3,08	7,3 (d=2,36)	0,42	3,22	3,64	8,7 (d=2,40)

Roche saine		Fe_2O_3	MnO_2	MgO	CaO	Na_2O	K_2O
	g/100g	1,9	0,04	0,46	1,8	4,87	2,83
	g/100cm³ (d=2,60)	4,95	0,10	1,2	4,7	12,6	7,35

l'analyse minéralogique du squelette (cf. fig. 53). Les teneurs en magnésium du résidu sont partout très faibles, même dans l'arène. Cet élément est fourni par la biotite, seul minéral ferromagnésien présent dans la roche mère. Ce minéral primaire est fragile et il est probablement presque entièrement dissous par le réactif triacide. En effet, dans l'arène où la biotite non ou très peu altérée a été observée en lame mince, le résidu ne contient pas plus de magnésium que dans le sol. Il en sera de même pour le fer et le manganèse, eux aussi presque absents du résidu.

Le manganèse est sensiblement constant dans la majeure partie du profil. Sur le versant il diminue dans les horizons supérieurs (dans le A_1 en T_1, dans le B columnaire en T_9) tandis qu'il tend à augmenter vers la surface en bas de pente.

Le fer présente un comportement tout à fait original et à priori difficilement explicable : l'ensemble du profil est fortement enrichi en fer par rapport à l'arène, quel que soit le mode de présentation des résultats (teneurs rapportées au poids ou au volume).

Sans oublier que l'on entre dans le domaine des hypothèses en cascade, nous allons rechercher les explications possibles de cette anomalie et en discuter la vraisemblance.

Deux hypothèses peuvent être envisagées dès l'abord quant à l'origine de cet excédent de fer :

— Il s'agit d'une accumulation relative, l'ensemble du sol ayant subi un tassement par perte de tous les éléments autres que le fer.

— Le fer a une origine externe aux profils actuels. L'accumulation est absolue.

La première hypothèse est à éliminer d'emblée car, d'une part, elle suppose un tassement considérable et, d'autre part, il est difficile de concevoir un départ aussi important de matière avec maintien d'une grande partie des bases et, en particulier, du calcium.

La seconde hypothèse est donc la seule à retenir.

On rappellera alors :

— qu'existent à l'amont de la toposéquence les reliques d'une cuirasse ;

— que les lignes de galets, situées à la base de l'horizon A des solonetz ou au sommet des sols bruns subarides alcalisés, comportent des nodules ferrugineux semblables aux reliques ferrugineuses de l'amont ;

— que des lentilles de galets et de fragments ferrugineux existent dans certains sols de la plaine aval.

Toutes ces reliques ferrugineuses constituent le terme ultime de l'évolution d'une cuirasse qui, de toute évidence, a eu une extension plus grande qu'actuellement, et qui a peut-être constitué la source de fer recherchée.

L'intégration d'une partie du fer de cette cuirasse à la couverture pédologique actuelle a pu s'effectuer de deux façons :

— Par des mécanismes de lessivage et illuviation analogues à ceux qui transforment les séquences initiales d'horizons des toposéquences contrastées, et dont LEPRUN (à paraître) montre qu'ils constituent effectivement un mode de destruction des cuirasses anciennes. Les solonetz et les sols bruns associés seraient alors constitués par les horizons d'accumulation résultant de ce lessivage.

— Par dissolution des reliques ferrugineuses, associées aux galets de quartz, qui coiffent les horizons argileux du versant. En effet, ces nodules sont périodiquement recouverts par les horizons A des solonetz (cf. p. 71) à la base desquels règnent en saison des pluies des conditions d'engorgement décelables grâce au pseudogley qui affecte ces horizons (cf. p. 66) et aux mesures d'humidité (cf. p. 203). Cette hydromorphie, la présence de matières organiques relativement abondantes (cf. p. 173), sont susceptibles de permettre la mise en solution du fer des nodules et sa redistribution dans le profil.

La première hypothèse est en contradiction avec tous les résultats analytiques précé-

demment acquis et qui montrent que la toposéquence de Tassamakat appartient à la famille des toposéquences monotones à sols d'altération, tandis qu'elle ne présente aucun des caractères granulométriques, minéralogiques ou chimiques des systèmes éluviaux-illuviaux des toposéquences contrastées. Ceci ne signifie pas que la disparition de la cuirasse ne s'est pas effectuée selon les mécanismes proposés dans cette hypothèse. Nous avons d'ailleurs retrouvé des horizons A'_2 et B'_2 caractéristiques dans la lentille gravillonnaire de l'amont (cf. p. 73). Mais ceux-ci sont discordants sur les horizons d'altération adjacents et il est probable que la majeure partie de ces systèmes éluviaux-illuviaux a disparu, sans doute sous l'effet du rabotage par l'érosion qui s'attaque actuellement aux solonetz du versant (cf. p. 71).

La seconde hypothèse, en plus du fait qu'elle ne fait intervenir que des mécanismes dont on observe des traces manifestes (hydromorphie), rend compte de ce que seul l'excédent de fer distingue les sols de Tassamakat de ceux des autres toposéquences monotones. Ainsi, cet enrichissement en fer, surimposé à des sols résultant essentiellement de l'altération in situ d'une arène, constituerait, à la faveur d'une différenciation pédologique particulière (pseudogley superficiel), la dernière étape de l'histoire de cuirasses dont les traces sont omniprésentes dans toute la zone soudano-sahélienne, histoire à la reconstitution de laquelle travaillent actuellement d'autres chercheurs (LEPRUN, 1970, à paraître ; NAHON, 1971).

Les sols bruns subarides de Soffokel présentent des caractères analogues à ceux des sols de Tassamakat en ce qui concerne tous les éléments, sauf le fer qui ne varie pratiquement pas dans le profil. Ainsi, en S_3 (Tableau XVII), les teneurs en fer rapportées au volume sont sensiblement constantes du matériau jusqu'en surface. Et si l'on se rappelle que les sols de Soffokel ne présentent aucune trace d'hydromorphie, cette constatation peut apparaître comme le corollaire de la proposition du paragraphe précédent.

Tableau XVII. — TENEURS EN FER DU PROFIL S_3 SOFFOKEL.

Fe_3O_2	Triacide g/100 g	Résidu g/100 g	Total g/100 g	Total g/100cc
A	6	0,09	6,09	10,9 d = 1,79
B cub.	6,5	0,07	6,57	11,5 d = 1,78
B prism.	5,10	0,08	5,18	10,1 d = 1,95
Bca	5,0	0,07	5,07	10 d = 1,97
C	5,0	0,04	5,04	11,2 d = 2,2

(*b*) LES TOPOSÉQUENCES MÉRIDIONALES (ZONE SOUDANIENNE-GARANGO I) TABLEAU XVII

Comportement des bases

Le sodium, le potassium et le magnésium montrent des comportements de même type dans les trois profils du versant. Les teneurs du complexe d'altération reflètent une tendance générale à la diminution de la base vers le sommet du profil. Compte tenu des pertes enregistrées par la phase résiduelle, l'élément le plus exporté est le sodium, puis vient le magnésium et enfin le potassium. Les variations latérales significatives semblent liées aux différences de composition de la roche mère qui est nettement plus basique à l'aval : le magné-

sium, très abondant dans l'arène du vertisol, est proportionnellement beaucoup plus éliminé que dans les sols amont ; le phénomène inverse, mais beaucoup moins accentué, se produit pour le potassium. Ceci suggère que le pourcentage des pertes en ces éléments du sol par rapport à l'arène est réglé par la capacité de fixation du complexe d'altération, qui nous est donnée par l'analyse triacide.

Le ***calcium*** est progressivement éliminé des profils de l'amont où les variations les plus importantes sont liées à la composition du squelette (cf. infra). ***A l'aval, l'horizon Bca ne montre pas d'enrichissement en calcaire par rapport à l'arène.*** Ceci suggère que ***le calcaire s'individualise sur place à partir des minéraux primaires calciques dans l'horizon Bca*** tandis qu'il est exporté des horizons sus-jacents. La richesse de la roche mère en calcium apparaît comme la principale cause de la présence de l'horizon B calcaire et rien ne nous incite à admettre qu'il y a dans cet horizon accumulation verticale et encore moins latérale de calcaire.

L'examen des teneurs du résidu en calcium, sodium, potassium nous conduit à formuler des conclusions identiques à celles de l'étude minéralogique du squelette. L'altération des plagioclases (cf. Na_2O et CaO) est quantitativement nettement plus importante que celle des feldspaths potassiques (cf. K_2O). Les minimums du sodium et du calcium correspondent à une altération maximum des plagioclases qui se situe dans le B prismatique en G_I1 dans le B cubique en G_I2 et dans le B du vertisol G_I4. Les teneurs en magnésium du résidu, faibles à l'amont, nettement plus élevées à l'aval, sont à relier à la nature des minéraux ferro-magnésiens de la roche mère : ce sont principalement des biotites à l'amont et elles sont détruites par l'attaque triacide, tandis que la hornblende, à réseau plus résistant, est abondante à l'aval.

Le manganèse paraît dans l'ensemble assez peu mobile du moins jusqu'au sommet des horizons B. A l'amont, le manganèse décroît progressivement de la base jusqu'au sommet du B où il augmente légèrement. Dans le profil médian, les résultats semblent traduire une assez forte accumulation au niveau du B prismatique liée à un net appauvrissement superficiel ; mais on ne peut exclure l'influence éventuelle de l'hétérogénéité de la roche mère sur la teneur anormalement forte du B prismatique. Dans le vertisol aval, le manganèse diminue progressivement et de façon très modérée jusqu'au B. Tous les horizons A du versant montrent un fort appauvrissement en manganèse.

Les teneurs en fer du profil amont confirment qu'il se produit une légère accumulation de fer dans les horizons B et principalement dans l'horizon B prismatique (cette accumulation ne semblait pas significative lors de l'étude isovolume). Par contre, les teneurs sont sensiblement constantes dans le profil médian et décroissent dans le vertisol où se manifeste un fort appauvrissement entre l'arène, très riche en fer et l'horizon Bca. Toutefois, en valeur absolue (rapportée au volume), le vertisol est légèrement plus riche en fer que les sols bruns eutrophes.

(c) Conclusions :

Dans les toposéquences monotones, le ***sodium***, le ***potassium*** et le ***magnésium*** sont partiellement exportés du profil. Cette exportation est maximum pour le sodium, plus faible pour le magnésium et surtout le potassium. On ne peut se risquer à indiquer une variation latitudinale de l'importance de ces pertes car celles-ci sont fortement influencées par la teneur initiale du matériau originel.

Il en est tout autrement du ***calcium*** qui semble très sensible au gradient climatique latitudinal et apparaît ainsi comme un indicateur précieux de la dynamique géochimique des toposéquences. Les résultats obtenus nous permettent de proposer les conclusions suivantes :

— En zone sahélienne, le calcium est ou a été[1] lixivié des horizons supérieurs et s'accumule de façon absolue sous forme de calcaire à la base du profil.

— En zone soudanienne, le calcium est progressivement exporté du profil à l'amont[2].

1. Nous verrons ultérieurement que des réserves sont à faire sur l'actualité de ce phénomène.
2. On remarquera que les arènes de Tassamakat sont moins riches en calcium que celles de Garango I amont, ce qui exclut, dans ces comportements différents du calcaire, l'influence éventuelle de la roche mère.

Tableau XVIII. — GARANGO I, RÉSULTATS DES ANALYSES TRIACIDE ET TOTALE.

Fe_2O_3	Sol brun eutrophe amont (G_I 1)				Transition brun eutr-vertisol (G_I 2)					vertisol (G_I 4)			
	Triac. g/100g	Résidu g/100g	Total g/100g	Total g/100cm³	Triac. g/100g	Résidu g/100g	Total g/100g	Total g/100cm³		Triac. g/100g	Résidu g/100g	Total g/100g	Total g/100cm³
A	2,23	0,12	2,35	3,75 (d=1,6)	2,30	0,28	2,58	4,25 (d=1,65)	A	4,0	0,33	4,33	8,7 (d=2,02)
B cub.	5,5	0,06	5,56	9,4 (d=1,69)	6,0	0,07	6,07	10,3 (d=1,70)	B	5,75	0,31	6,06	12,6 (d=2,06)
B prism.	6,0	0,07	6,07	10,3 (d=1,69)	6,0	0,08	6,08	10,7 (d=1,78)	B_{Ca}	5,10	0,45	5,55	11 (d=2,0)
BC	5,0	0,09	5,09	9,1 (d=1,79)	6,0	0,17	6,17	11,1 (d=1,8)	C			10,1	22,2 (d=2,22)
C	4	0,09	4,09	7,7 (d=1,92)	6,75	0,06	6,81	13,6 (d=1,85)					

MnO_2	Sol brun eutrophe amont (G_I 1)				Transition brun eutr-vertisol (G_I 2)					vertisol (G_I 4)			
	Triac. g/100g	Résidu g/100g	Total g/100g	Total g/100cm³	Triac. g/100g	Résidu g/100g	Total g/100g	Total g/100cm³		Triac. g/100g	Résidu g/100g	Total g/100g	Total g/100cm³
A	0,02	0,002	0,022	0,035 (d=1,6)	0,015	0,01	0,025	0,041 (d=1,65)	A	0,04	Tr	0,04	0,089 (d=2,02)
B cub.	0,079	Tr	0,079	0,133 (d=1,69)	0,01	Tr	0,01	0,017 (d=1,70)	B	0,06	Tr	0,06	0,123 (d=2,06)
B prism.	0,069	Tr	0,069	0,117 (d=1,69)	0,73	Tr	0,73	1,3 (d=1,78)	B_{Ca}	0,07	Tr	0,07	0,145 (d=2,06)
BC	0,069	Tr	0,069	0,123 (d=1,78)	0,15	Tr	0,15	0,27 (d=1,8)	C			0,07	0,155 (d=2,22)
C	0,079	Tr	0,079	0,152 (d=1,92)	0,103	0,006	0,109	0,203 (d=1,85)					

MgO	Sol brun eutrophe amont (G_I 1)				Transition brun eutr-vertisol (G_I 2)					vertisol (G_I 4)			
	Triac. g/100g	Résidu g/100g	Total g/100g	Total g/100cm³	Triac. g/100g	Résidu g/100g	Total g/100g	Total g/100cm³		Triac. g/100g	Résidu g/100g	Total g/100g	Total g/100cm³
A	0,15	0,10	0,25	0,4 (d=1,6)	0,17	0,19	0,36	0,59 (d=1,65)	A	0,54	0,21	0,75	1,51 (d=2,02)
B cub.	1,0	0,03	1,03	1,74 (d=1,69)	0,39	0,05	0,44	0,75 (d=1,70)	B	0,56	0,21	0,77	1,59 (d=2,06)
B prism.	1,03	0,05	1,08	1,84 (d=1,69)	0,58	0,05	0,63	1,12 (d=1,78)	B_{Ca}	1,41	0,28	1,69	3,5 (d=2,0)
BC	1,0	0,04	1,04	1,76 (d=1,79)	0,90	0,09	0,99	1,78 (d=1,8)	C			5,71	12,7 (d=2,22)
C	1,22	0,02	1,24	2,38 (d=1,92)	1,36	0,15	1,51	2,8 (d=1,85)					

CaO	Sol brun eutrophe amont (G_I 1)				Transition brun eutr-vertisol (G_I 2)					vertisol (G_I 4)			
	Triac. g/100g	Résidu g/100g	Total g/100g	Total g/100cm³	Triac. g/100g	Résidu g/100g	Total g/100g	Total g/100cm³		Triac. g/100g	Résidu g/100g	Total g/100g	Total g/100cm³
A	0,40	1,21	1,61	2,57 (d=1,6)	0,12	0,94	1,06	1,75 (d=1,65)	A	0,53	0,98	1,51	3,05 (d=2,02)
B cub.	0,38	1,15	1,53	2,59 (d=1,69)	0,25	0,23	0,48	0,82 (d=1,70)	B	0,55	0,77	1,32	2,73 (d=2,06)
B prism.	0,44	1,07	1,51	2,55 (d=1,69)	0,42	0,37	0,79	1,40 (d=1,78)	B_{Ca}	6,71	1,02	7,73	16 (d=2,06)
BC	0,37	1,86	2,23	4,0 (d=1,79)	0,48	1,59	2,07	3,75 (d=1,8)	C			7,5	16,1 (d=2,22)
C	0,38	2,46	2,84	5,42 (d=1,92)	0,74	1,62	2,36	4,35 (d=1,85)					

Na_2O	Sol brun eutrophe amont (G_I 1)				Transition brun eutr-vertisol (G_I 2)					vertisol (G_I 4)			
	Triac. g/100g	Résidu g/100g	Total g/100g	Total g/100cm³	Triac. g/100g	Résidu g/100g	Total g/100g	Total g/100cm³		Triac. g/100g	Résidu g/100g	Total g/100g	Total g/100cm³
A	0,15	1,65	1,80	2,28 (d=1,6)	0,20	1,97	2,17	3,35 (d=1,65)	A	0,21	1,25	1,46	2,95 (d=2,02)
B cub.	0,18	1,63	1,81	3,06 (d=1,69)	0,27	0,85	1,12	1,90 (d=1,70)	B	0,21	0,99	1,10	2,27 (d=2,06)
B prism.	0,24	1,51	1,75	2,95 (d=1,69)	0,22	1	1,22	2,17 (d=1,78)	B_{Ca}	0,25	1,13	1,38	2,85 (d=2,0)
BC	0,15	2,76	2,91	5,2 (d=1,79)	0,19	2,18	2,37	4,25 (d=1,8)	C			3,13	6,9 (d=2,22)
C	2,23	3,70	3,93	7,5 (d=1,92)	0,23	2,25	2,48	4,6 (d=1,85)					

K_2O	Sol brun eutrophe amont (G_I 1)				Transition brun eutr-vertisol (G_I 2)					vertisol (G_I 4)			
	Triac. g/100g	Résidu g/100g	Total g/100g	Total g/100cm³	Triac. g/100g	Résidu g/100g	Total g/100g	Total g/100cm³		Triac. g/100g	Résidu g/100g	Total g/100g	Total g/100cm³
A	0,23	0,31	0,54	0,87 (d=1,6)	0,18	0,69	0,87	1,44 (d=1,65)	A	0,20	0,40	0,60	1,21 (d=2,02)
B cub.	0,64	0,27	0,91	1,54 (d=1,69)	0,78	0,34	1,12	1,91 (d=1,70)	B	0,20	0,35	0,55	1,14 (d=2,06)
B prism.	0,60	0,39	0,99	1,78 (d=1,69)	0,45	0,31	0,76	1,35 (d=1,78)	B_{Ca}	0,23	0,25	0,48	0,99 (d=2,06)
BC	0,60	0,36	0,96	1,72 (d=1,79)	0,60	0,24	0,84	1,51 (d=1,8)	C			0,58	1,28 (d=2,22)
C	0,96	0,25	1,21	2,32 (d=1,92)	0,75	0,13	0,88	1,65 (d=1,85)					

Roche saine (valable seulement pour G_I 1 et G_I 2)		Fe_2O_3	MnO_2	MgO	CaO	Na_2O	K_2O
	g/100g	2,3	0,02	0,72	3,2	4,38	1,05
	g/100 cm³ (d=2,65)	6,1	0,05	1,91	8,5	11,6	2,78

Il est libéré sur place à la base des sols de l'aval où il s'exprime sous forme de calcaire, lorsque la roche est suffisamment calcique, tandis qu'il est exporté des horizons supérieurs.

A l'appui de cette proposition on rappellera certains faits constatés lors de l'étude micromorphologique. Dans l'horizon Bca des vertisols de Garango I, l'individualisation du calcaire se fait par imprégnation du plasma et n'est jamais en relation avec les vides ; ceci est en faveur d'une individualisation sur place. Au contraire, à Tassamakat, on a noté la présence, en bordure des vides, de dépôts de calcaire (calcitanes), ce qui constitue l'indice de migration de calcaire dans les pores.

Le manganèse montre en général des variations faibles qui vont dans le sens d'une diminution. Il est possible toutefois que, dans les sols bruns eutrophes, se produise une certaine accumulation.

Le fer (cas particulier de Tassamakat exclu, cf. p. 192) présente un comportement différent en zone sahélienne et en zone soudanienne :

— Dans les sols bruns subarides de Soffokel (qui sont l'équivalent sahélien des sols bruns eutrophes), le fer est immobile et ne montre pas de variation significative, depuis l'horizon C jusqu'en surface.

— A Garango I (zone soudanienne), on constate une légère accumulation à l'amont dans le sol brun eutrophe, une absence de variation à mi-pente (sol de transition brun eutrophe-vertisol), une perte à l'aval (vertisol).

Bien que ces variations soient ténues et ***doivent être utilisées avec prudence***, nous avons peut-être là un indice du comportement différentiel du fer en fonction des variations climatiques latitudinales.

2. Toposéquences contrastées (fig. 62 et 63)

L'effort analytique a essentiellement porté sur la toposéquence de Garango II, plus ramassée et plus différenciée que celle de Diébiga pour laquelle n'ont été effectuées que des analyses de contrôle.

Des résultats malgré tout trop peu nombreux, des fourchettes de valeurs souvent étroites, ont fait que les tentatives de tracé de courbes isovaleurs ont abouti à des cartes confuses et d'interprétation difficile et aléatoire. Aussi a-t-il paru préférable de porter simplement les résultats analytiques sur la carte des horizons.

Approche d'un bilan

Les valeurs moyennes des teneurs des divers éléments extraits par le réactif triacide pour chacun des quatre grands domaines définis antérieurement nous donnent une idée très grossière des stocks que ces derniers représentent. Ces valeurs ont été portées dans le tableau XIX. En tenant compte du fait que le domaine lessivé représente le tiers du domaine illuvial sur le transect étudié, on a calculé la moyenne pondérée de l'ensemble de ces deux domaines, de façon à pouvoir établir une comparaison avec ce qui reste du domaine initial.

De l'examen de ce tableau, on peut tirer les remarques suivantes :

1. De tous les domaines, c'est le domaine d'altération aval qui est le plus riche en tous éléments, fer compris. Ceci est particulièrement sensible pour le calcium, le magnésium, le manganèse.

Par rapport à une évolution par simple altération, le système horizons initiaux, horizons lessivés, horizons d'accumulation présente donc un bilan déficitaire.

2. Le domaine lessivé est nettement appauvri en tous éléments par rapport au domaine initial.

3. Le domaine illuvial est légèrement enrichi en tous éléments, sauf en sodium et en potassium, par rapport au domaine initial. Lorsque l'on considère l'ensemble éluvial-illuvial,

Tableau XIX. — GARANGO II — ANALYSE TRIACIDE — TENEURS MOYENNES DES DIVERS DOMAINES EN % DE LA TERRE TOTALE.

	Domaine initial amont	Domaine lessivé	Domaine illuvié	Moyenne pondérée dom. less. illuv.	Domaine d'altération aval
Na_2O	0,21	0,16	0,21	0,19	0,23
CaO	0,21	0,14	0,29	0,25	0,70
MgO	0,17	0,09	0,23	0,19	0,82
K_2O	0,21	0,14	0,21	0,19	0,25
Fe_2O_3	5,3	3,7	5,8	5,3	6,83
MnO_2	0,049	0,039	0,057	0,053	0,085

cet enrichissement se maintient pour le calcium, le magnésium et le manganèse ; il s'annule pour le fer.

L'utilisation de ce dernier résultat doit être prudente car, en plus du caractère très fruste de l'appréciation des stocks correspondant à chaque domaine, il ne faut pas oublier que nous ignorons quelles étaient la nature et la composition de la partie aval de la chaîne initiale qui a nourri le domaine illuvial à ses débuts.

Tout au plus peut-on dire qu'au cours de l'opération lessivage-illuviation du domaine initial :

— Une perte de sodium et de potassium est probable.
— Il est possible que les autres éléments se soient conservés.

En ce qui concerne la première proposition, la perte de sodium, élément le plus mobile, ne surprend pas. Il n'en est pas de même du potassium ; on peut cependant supposer que cette perte corresponde à la transformation des interstratifiés illite-montmorillonite en montmorillonite.

La seconde proposition nous laisse entrevoir que la transformation d'une couverture pédologique où le fer, plus ou moins associé à la kaolinite, est fortement exprimé (sols ferrallitiques et sols ferrugineux plus ou moins carapacés) en des sols montmorillonitiques (planosols, solonetz, sols vertiques) puisse se réaliser sans qu'il y ait exportation de fer hors du système. On constate cependant une redistribution, à l'intérieur du couple lessivé/illuvié, entre domaine lessivé (3,7 %) et domaine illuvié (5,8 %).

VARIATIONS AU SEIN DES DIFFÉRENTS DOMAINES

Dans le ***domaine initial***, et pour les profils non encore touchés par le lessivage profond, on note que les teneurs des différents éléments vont généralement en décroissant de la base vers le sommet du profil. Ce type de variation, qui caractérise également les ***sols d'altération aval***, est celui que l'on a observé dans les sols des toposéquences monotones. Toutefois le domaine situé au-dessus de la « stone line » montre un enrichissement probablement lié à l'apport de minéraux frais par colluvionnement.

Le ***domaine lessivé*** est remarquablement homogène en ce qui concerne les teneurs en bases, avec des fourchettes souvent très étroites. Au contraire, les taux de fer et de manganèse, beaucoup plus variables, sont à relier à la permanence de reliques de structures altéro-illuviales ferruginisées dans l'horizon A'_2.

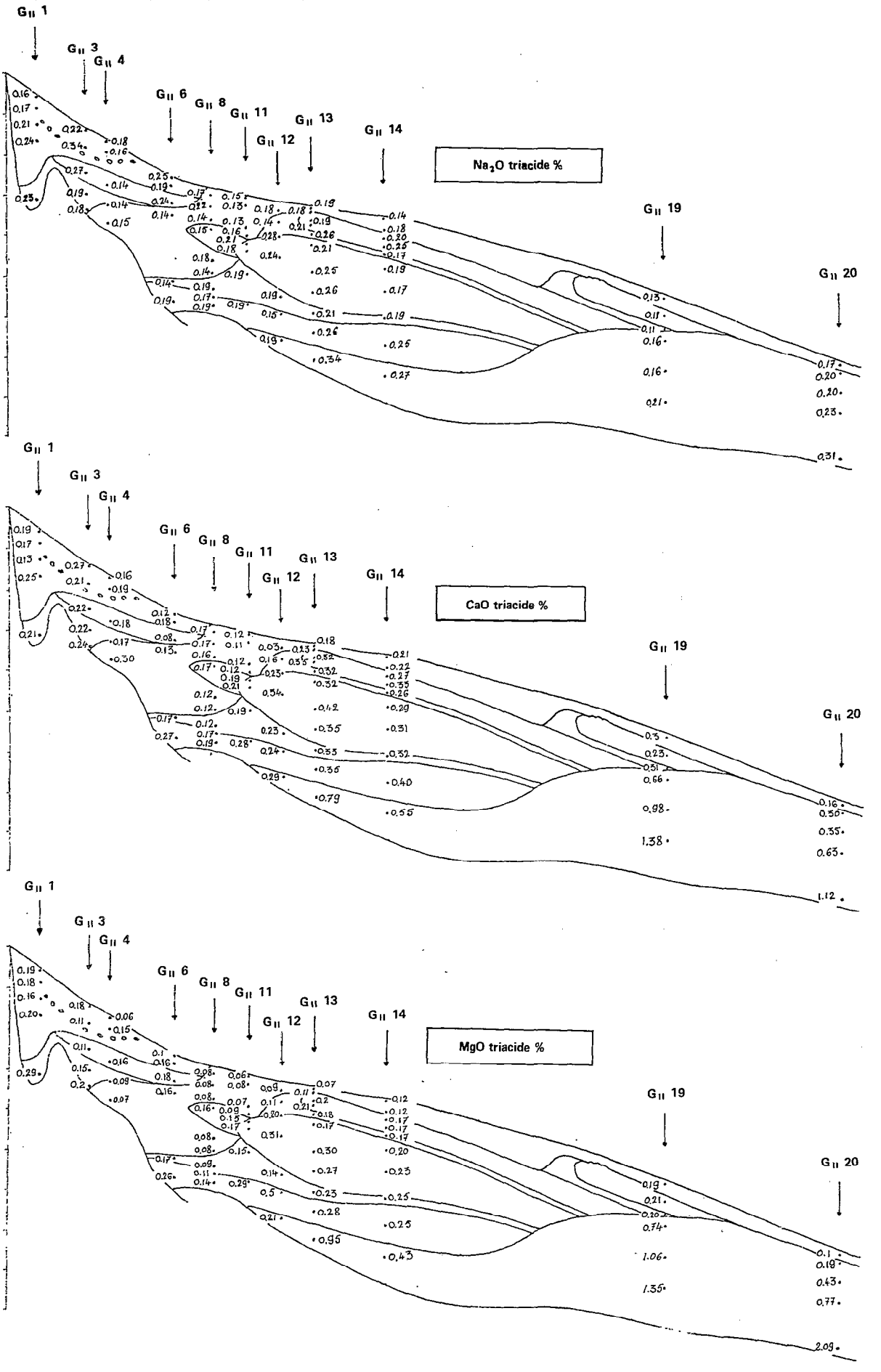


FIG. 62. — Toposéquence de Garango II. Résultats de l'analyse triacide : sodium, calcium, magnésium.

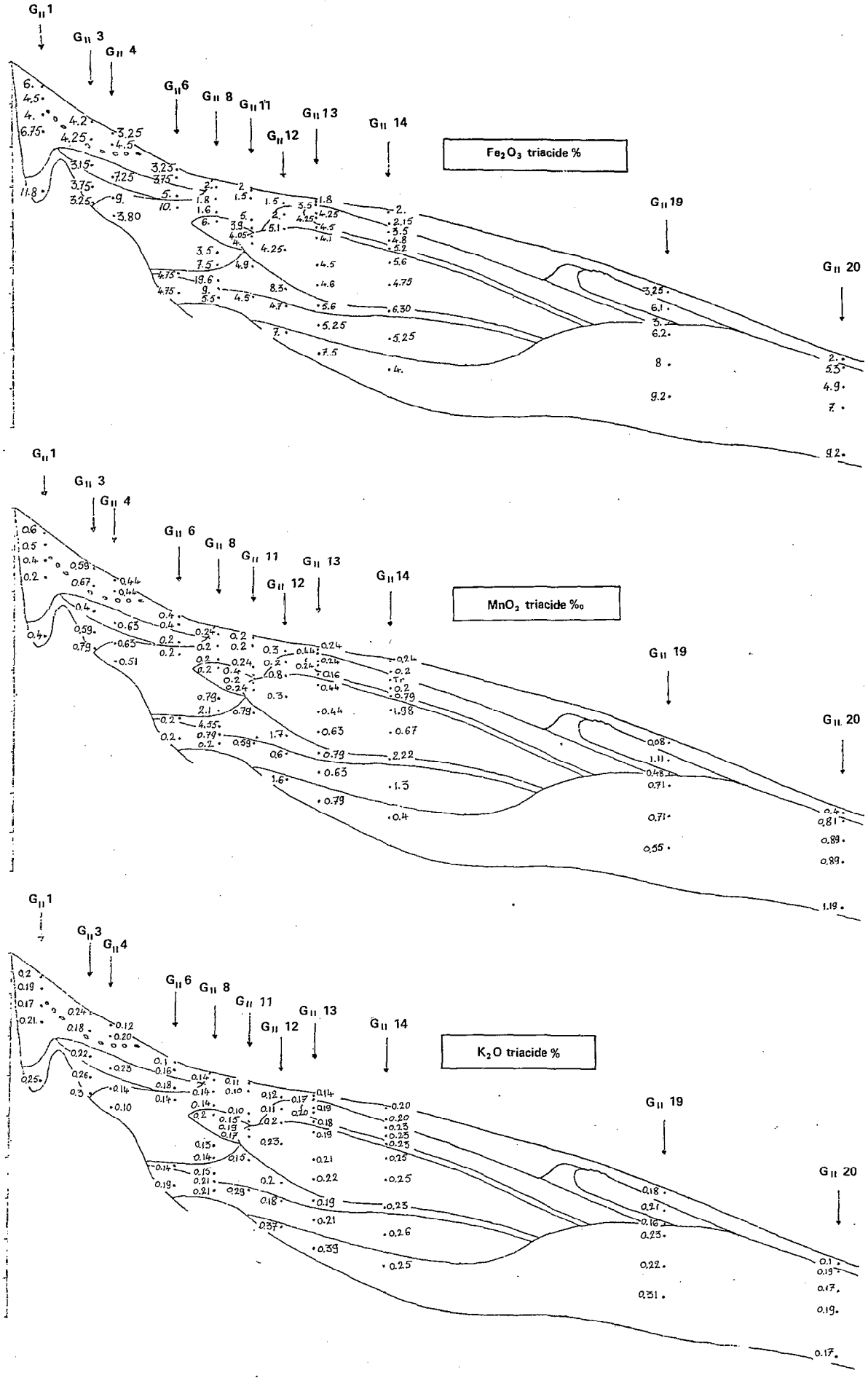


FIG. 63. — Toposéquence de Garango II. Résultats de l'analyse triacide : fer, manganèse, potassium.

Dans le ***domaine illuvial***, avec toutes les réserves qu'imposent le petit nombre de résultats, il semble que la richesse en bases des horizons en langue décroisse du B''_2 au B''''_2, c'est-à-dire dans leur ordre d'apparition dans la séquence. L'horizon d'accumulation inférieure (B'_2) est à peu près comparable au B''_2.

REMARQUES A PROPOS DE LA COMPOSITION DU RÉSIDU DE L'ATTAQUE TRIACIDE

Les teneurs en sodium et calcium du résidu de l'attaque triacide de quelques profils types de la toposéquence de Garango II, portées dans le tableau XX, nous permettent de retrouver, en ce qui concerne les plagioclases, les principaux résultats de l'analyse minéralogique du squelette :

— Diminution croissante de ***bas en haut*** dans la séquence d'altération initiale ($G_{II}3$), exception faite de l'enrichissement superficiel lié au colluvionnement.

— Diminution croissante de ***haut en bas*** dans le domaine lessivé et le domaine illuvial. Ce dernier ne modifie pas le gradient apparu dans l'horizon lessivé ;

— A nouveau, diminution croissante de ***bas en haut*** dans le domaine d'altération.

Tableau XX. — TENEURS EN SODIUM ET CALCIUM DU RÉSIDU DE L'ATTAQUE TRIACIDE DANS QUATRE PROFILS TYPES DE GARANGO II.

$G_{II}3$	Na_2O résidu	CaO résidu	$G_{II}6$	Na_2O résidu	CaO résidu	$G_{II}12$	Na_2O résidu	CaO résidu	$G_{II}19$	Na_2O résidu	CaO résidu
I A_1	0,70	0,13	A_1	1,47	0,3	$A_1A'_2$	1,3	0,31	A_1	1	0,25
II B	0,18	0,02	B	1,42	0,25	A'_2	0,94	0,21	B''''_2	0,98	0,2
II Bcn	0,38	0,04	A'_2	0,52	0,08	B''_2	0,61	0,14	A'''_2B'''	0,53	0,17
II Bg	0,55	0,09		0,3	0,05	A'_2B'	0,54	0,13		0,67	0,18
	1,5	0,37	A'_2B'	0,28	0,05	B'_2	0,44	0,11	BC	1,30	0,58
			B'_2	0,80	0,19	BC	0,84	0,88		2,08	1,67

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Le nombre insuffisant de résultats analytiques ne nous permet pas d'étudier les séquences d'accumulation au sein du domaine illuvial, ainsi que l'a fait BOCQUIER dans les toposéquences du Tchad. Cependant, un bilan global très approximatif peut être dressé. Et ce bilan suggère qu'à ***Garango II***, le transfert de matière du domaine initial vers le domaine illuvial s'effectue sans perte importante, sauf peut-être pour le sodium et le potassium. En particulier, le fer exporté du domaine initial kaolinique et ferrugineux est susceptible d'être absorbé en totalité par les horizons illuviaux montmorillonitiques.

On retiendra également que l'accumulation des bases semble décroître dans les horizons B en langue dans leur ordre d'apparition dans la toposéquence (de l'amont vers l'aval).

Enfin, la composition chimique du squelette confirme que ce dernier subit, dans le domaine lessivé, une altération distincte de l'altération initiale, tandis qu'il reste stable, ensuite, dans le domaine illuvial.

Chapitre VI

Données sur le régime hydrique des toposéquences monotones et des toposéquences contrastées

Aperçu sur la géochimie des eaux de la toposéquence de Garango II

Des observations sur le régime hydrique ont été effectuées en saison humide pendant la deuxième quinzaine du mois d'août 1971.

En ce qui concerne les toposéquences septentrionales, très difficiles d'accès en saison des pluies, une seule série de mesures a été réalisée à la fin du mois d'août. Ceci est évidemment très insuffisant et ne peut permettre qu'une approche sommaire de la dynamique de l'eau dans ces types de sol. A Garango I, on dispose, grâce à l'obligeance de M. Ibiza, hydrologue de l'O.R.S.T.O.M., d'une série supplémentaire de mesures en début d'octobre, après les dernières pluies.

A Garango II, une dynamique de l'eau beaucoup plus contrastée que dans les toposéquences monotones et, en particulier, l'existence de nappes, perchées ou non, a permis une moisson de faits plus riche d'enseignements, grâce en particulier aux données géochimiques fournies par les analyses d'eau. Par contre, aucune observation n'a pu être faite à Diébiga, inaccessible en saison des pluies.

I. RÉGIME HYDRIQUE DES TOPOSÉQUENCES MONOTONES

A. RÉGION SAHÉLIENNE : SOFFOKEL ET TASSAMAKAT : fig. 64

La pluviosité de l'année 1971 a été fortement déficitaire dans cette zone climatique. A Dori, station la plus proche des deux sites d'étude, la pluviosité fut de 426 mm, la normale étant de 540 mm. Lors de la réalisation des mesures d'humidité, il était tombé à Dori 338 mm contre 430 en année moyenne soit un déficit de 93 mm par rapport à la normale.

A Soffokel, lors de la réalisation des mesures d'humidité, la dernière pluie datait de 4 jours au dire des habitants. Aucune flaque d'eau n'a été observée sur le versant, ni dans l'axe de drainage adjacent.

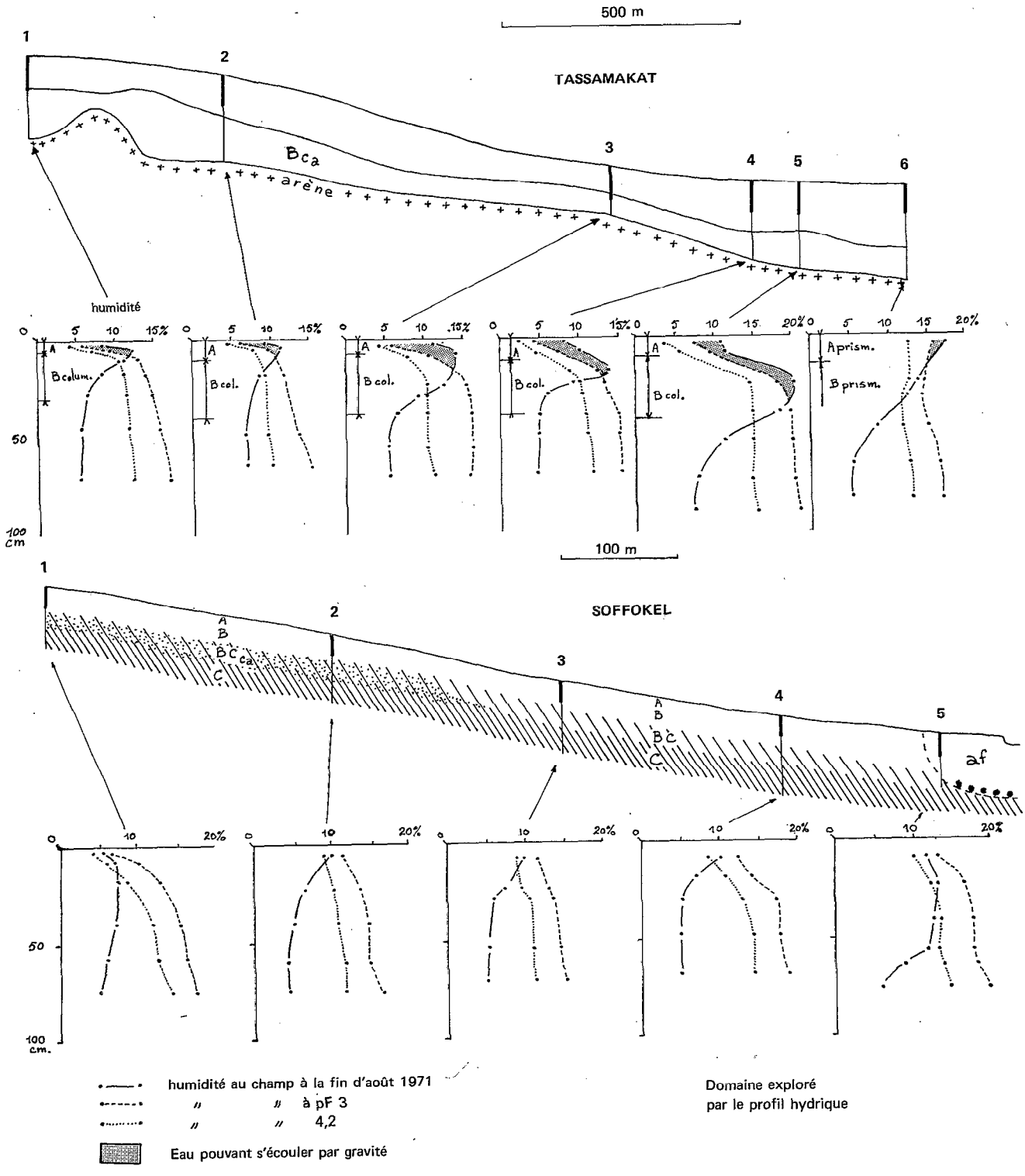


FIG. 64. — Régime hydrique des toposéquences monotones septentrionales.

La forme des profils hydriques montre clairement que, sur le versant, seule une couche d'épaisseur inférieure ou égale à 50 cm est influencée par l'humectation superficielle et cette influence décroît rapidement à partir de la surface. Les profils hydriques 1 et 3 ont été effectués sous le maigre tapis herbacé, très discontinu, qui parsème par plaques le versant, les profils 2 et 4 dans des zones dénudées. L'influence de la végétation herbacée est perceptible dans la forme de la courbe d'humidité mais apparaît très faible et n'accroît pas en particulier l'épaisseur de la zone touchée par l'humectation superficielle. Seul le profil situé dans la plaine alluviale montre une influence plus profonde de cette humectation. Cependant, nulle part on n'a décelé « d'eau libre »[1], dont la présence est probablement très fugace après chaque averse.

Une estimation très grossière de la lame d'eau correspondant à cette humectation, effectuée en utilisant un profil hydrique réalisé en saison sèche, nous donne des valeurs de l'ordre de 30 mm pour le versant et 50 mm pour la plaine alluviale. Sur le versant, il y aurait très peu de différence entre les sols sous graminées (32 mm) et ceux dont la surface est dénudée (30 mm pour le profil 2 et 27 pour le profil 4). Ces valeurs, qui ne constituent que des ordres de grandeur, montrent cependant qu'une partie très importante des pluies est exportée par le ruissellement (et l'axe de drainage) et l'évaporation.

A Tassamakat, les profils hydriques mettent en évidence l'influence très importante de l'horizon A sableux. Les graphiques portés sur la figure 64 correspondent uniquement à des solonetz. Des profils hydriques ont également été effectués sur les sols bruns subarides alcalisés intercalés ; ils sont de même type que ceux des sols bruns dénudés de Soffokel (profil 2 et 4).

Dans les solonetz, on constate l'existence, ***à la partie supérieure du profil, de quantités appréciables « d'eau libre » que l'on associe à la présence de l'horizon supérieur sableux*** par comparaison avec les sols bruns. A l'amont, « l'eau libre » n'existe que dans l'horizon A et dans une mince frange de l'horizon B columnaire (mais l'humectation, bien qu'ensuite rapidement décroissante, affecte la presque totalité de cet horizon). A mesure que l'on va vers l'aval, cette eau libre envahit une part de plus en plus importante de l'horizon B columnaire, part qui atteint les trois quarts de cet horizon dans le solonetz de bas de pente (profil n° 5). Dans la plaine aval par contre, bien que l'accumulation de l'eau s'y manifeste par la présence de flaques (la dernière pluie remontait à 6 jours lors de ces observations) l'eau libre n'atteint de nouveau qu'une faible profondeur, en l'absence d'horizon superficiel sableux. Un calcul approché, analogue à celui effectué pour Soffokel, permet d'estimer la lame d'eau infiltrée (et retenue), correspondant à l'humectation à la fin de ce mois d'août 1971, à 50 mm à l'amont (profil 1) et à 115 mm dans le solonetz de bas de pente (profil 5). C'est ainsi un peu plus du double de l'eau retenue à l'amont qui imprègne le solonetz aval. Malgré tout, cette humectation reste partout superficielle et ne dépasse pas 70 cm dans les meilleures conditions.

La variation latérale des profils hydriques exprime l'influence conjointe de la topographie et de la différenciation pédologique sur l'alimentation en eau du sol ; celle-ci est d'autant plus abondante que le sol est plus à l'aval. Et la suralimentation de l'aval s'effectue selon toute vraisemblance à la fois par le ruissellement (dont les traces abondent — cf. ét. morpho.) et par circulation hypodermique à la base de l'horizon A sableux. Cette dernière est toutefois nécessairement discontinue au long du versant, puisque l'horizon sableux est périodiquement interrompu ; elle est alors relayée par le ruissellement superficiel.

Cette disparité des régimes hydriques devrait se refléter sur la morphologie des profils. Or, l'étude morphologique et micromorphologique n'a pas mis en évidence de différence significative entre l'amont et l'aval du versant telle que, par exemple, une variation d'épaisseur des horizons A. Il est possible qu'une étude quantitative, portant en particulier sur l'abondance relative des diverses organisations pédologiques, telles que les argilanes, les papules etc.,

1. L'eau dite libre, par opposition à l'eau retenue, correspond à la différence positive entre l'humidité du sol et la capacité de rétention au champ (dont on admet qu'elle est égale à l'humidité à pF 3). En réalité, si cette eau est susceptible de migrer sous l'effet de la pesanteur, elle est en partie liée au matériel qu'elle imprègne par des forces capillaires et des forces de sorption (Rode 1956). Sa mobilité est d'autant plus grande que le pF correspondant à l'humidité de l'horizon est plus faible. Seule l'eau saturante est véritablement libre et soumise à la gravité et à la pression hydrostatique.

montre une variation continue dans l'horizon B columnaire, en fonction de la position topographique du profil. Une telle étude nécessiterait un nombre nettement plus élevé de lames minces que celui dont nous disposons. On doit s'attendre d'autre part à ce que la reprise périodique par l'érosion de l'horizon A sableux, reprise qui affecte tout le versant (plaine aval exclue) vienne effacer l'effet de cette percolation accrue en bas de pente, qui doit essentiellement jouer sur les relations entre les horizons A et B columnaire.

B. RÉGION SOUDANIENNE : GARANGO I : fig. 65

A Garango, la pluviosité de l'année 1971 a été légèrement supérieure à la moyenne. Il est en effet tombé plus de 923 mm (la deuxième quinzaine de juillet n'a pas été relevée) pour une normale pluviométrique de 913 mm. Lors de la réalisation des mesures hydriques, la dernière pluie avait eu lieu deux jours auparavant (le 18/8/71) et s'élevait à 64 mm. A cette date, il était tombé 657 mm soit plus des deux tiers du total des précipitations de l'année.

Dans la toposéquence de Garango I, on distingue deux types de régimes hydriques.

Dans les sols bruns eutrophes de la moitié amont de la séquence, on constate en août l'existence d'eau libre en faible quantité en surface, en quantité plus importante en profondeur, de la base du B prismatique à l'arène comprise. Ce dernier point indique qu'il y a ***drainage vertical de l'ensemble du profil.***

L'humidité du B, légèrement inférieure aux valeurs mesurées à pF3 reste toutefois à expliquer. Deux interprétations sont possibles :

— la base de la « vague » de pénétration (Feodoroff *et al.*, 1969) de la dernière pluie se situe à la partie inférieure de l'horizon A en G_I1, du B cubique en G_I2.

— La mesure de l'humidité à pF 3 ne donne qu'une valeur très approchée de la capacité de rétention au champ (Feodoroff *et al.*, 1964). Il est dès lors possible que l'horizon B soit lui aussi en cours de ressuyage.

L'humectation du profil le 20 août 1971, comparée à l'humidité du sol en saison sèche, correspond à une lame d'eau libre de 200 mm en G_I1, de 195 mm en G_I2, horizon C exclu. Cette quantité d'eau est inférieure à celle qui s'est réellement infiltrée puisqu'il y a drainage. On note également que la variation maximum d'humidité entre janvier et août se situe dans la partie médiane du profil.

Dans les vertisols de la moitié aval de la séquence, l'eau libre est exclusivement située en surface.

La forme des courbes d'humidité en saison des pluies est cependant difficile à interpréter. En effet, on sait « qu'une terre humide ne peut céder une quantité notable d'eau à une terre plus sèche dès que son humidité descend sensiblement au-dessous de la capacité de rétention au champ » (Henin *et al.*, 1960). Ceci nous amène à admettre :

— Soit que la partie supérieure (jusqu'à environ 50 cm) des courbes d'humidité mesurée en août, corresponde à un profil hydrique d'humectation tandis que la partie inférieure correspondrait à un profil hydrique de dessèchement. Ceci suppose que seules les pluies les plus abondantes parviennent à humecter la base du profil, tandis que les pluies courantes n'affectent que la partie supérieure du profil. Entre ces très fortes pluies, les horizons profonds peuvent se dessécher sous l'effet de l'évaporation superficielle, même à travers des horizons supérieurs plus humides qu'eux (Hallaire *et al.*, 1958).

— Soit que la base du profil se soit alimentée en eau par l'intermédiaire des fentes de retrait.

Quelle que soit la solution retenue, la comparaison avec les graphiques correspondant aux sols bruns eutrophes montre que, dans les vertisols :

— le drainage, s'il existe, est nettement moins fréquent et plus faible que dans les sols bruns eutrophes ;

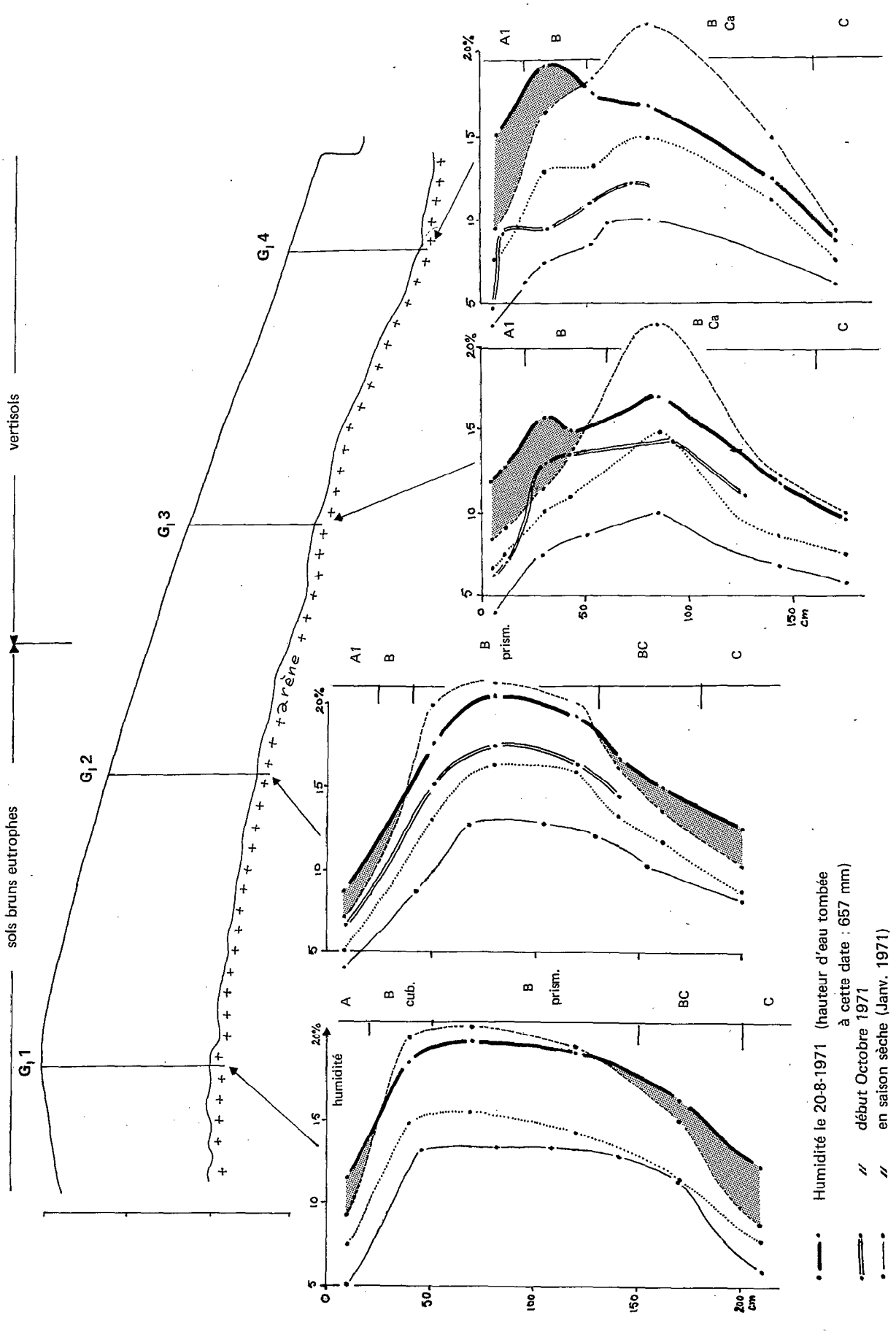


FIG. 65. — Garango I. Régime hydrique des toposéquences monotones méridionales.

— les quantités d'eau retenues par le profil, par comparaison avec l'humidité en janvier, sont égales ou plus fortes (200 mm en G_I3, 250 mm en G_I4) ;

— les plus grandes variations d'humidité entre l'état hydrique de saison sèche et celui de saison humide se situent à la partie supérieure du profil. Les mesures effectuées en octobre, trois semaines après la dernière pluie de quelque importance (44,2 mm) 15 jours après la dernière précipitation (1 mm), confirment ce point de vue en montrant une rétention préférentielle d'eau entre 30 et 50 cm en G_I3, entre 10 et 30 cm en G_I4.

A l'échelle de l'ensemble de la toposéquence, nous retiendrons quatre conclusions principales dont certaines peuvent être reliées à des faits établis dans les chapitres précédents.

1. La couverture pédologique du versant s'humecte sur toute son épaisseur au cours de la saison des pluies.

2. Le drainage a lieu dans les sols bruns eutrophes tandis qu'il est douteux et de toute façon plus faible dans les vertisols. Ceci est conforme à la différence entre les paragenèses argileuses qui existent dans ces deux types de sols. Par ailleurs, s'il n'est pas possible de rendre compte du comportement géochimique de tous les éléments, celui du calcium peut s'expliquer aussi en fonction du régime hydrique (exportation hors des sols bruns eutrophes, conservation à la base du profil des vertisols).

3. Les variations d'humidité les plus importantes entre saison sèche et saison humide se localisent vers le milieu du profil des sols bruns eutrophes, près de la surface dans les vertisols. Ceci est compatible avec l'existence de la zone d'altération préférentielle, assez profonde dans les sols bruns eutrophes, plus superficielle dans les vertisols, que l'étude de la minéralogie du squelette et de la texture avait mise en évidence.

4. Enfin, si le régime hydrique contribue évidemment à l'évolution du profil, ses particularités sont déterminées par la différenciation pédologique dans son état actuel. Or, ainsi qu'on l'a constaté précédemment, cette différenciation est, à Garango I, fortement influencée par la lithologie, influence qui se répercute donc sur le régime hydrique et explique en partie le contraste hydrodynamique entre l'amont et l'aval.

C. CONCLUSIONS

Malgré l'insuffisance des données obtenues pour cette étude du régime hydrique des toposéquences monotones, les seuls faits observés suggèrent déjà les conclusions suivantes :

En zone soudanienne, une évolution actuelle du profil, conforme aux différenciations minéralogiques et géochimiques précédemment mises en évidence, est très vraisemblable.

En zone sahélienne, au contraire, malgré le fait que les mesures aient été effectuées lors d'une année à pluviosité déficitaire, il semble probable qu'actuellement l'humectation n'affecte plus que la partie supérieure du profil. Et ceci est particulièrement net dans les sols bruns subarides de Soffokel, qui constituent l'équivalent sahélien des sols bruns eutrophes.

Nous sommes alors confrontés avec le difficile problème, déjà évoqué dans la première partie de ce travail, et qui concerne le rôle qu'il faut attribuer au climat actuel d'une part, aux climats anciens d'autre part, dans la différenciation des profils qui s'offrent de nos jours à nos investigations. Cette question sera de nouveau envisagée dans la quatrième partie.

II. RÉGIME HYDRIQUE ET GÉOCHIMIE DES EAUX DE LA TOPOSÈQUENCE DE GARANGO II

A. RÉGIME HYDRIQUE

Les conditions climatiques sont identiques à celles de Garango I situé deux kilomètres plus au sud.

De l'amont vers l'aval on observe successivement (cf. fig. 66) :

— Au pied de l'inselberg une humectation légèrement croissante du sommet vers la base du profil, sans qu'il y ait d'eau saturante.

— Avec l'horizon A'_2 apparaît une nappe (nappe I). Le toit de cette nappe est moins incliné que la surface topographique, il est même à contrepente aux abords des horizons B en langue. La presque totalité de l'horizon A'_2 est occupée par cette nappe.

— La nappe I disparaît brutalement à la tête de l'horizon B'''_2 et les profils hydriques montrent l'existence d'un segment de domaine illuvial sec, non touché par l'humectation.

— 30 m plus loin réapparaît une nappe continue (nappe II) que l'on suit jusqu'à la tête de l'horizon B''''_2. Le toit de cette nappe est à peu près parallèle à la surface du sol et sa continuité a été contrôlée par des sondages très serrés (tous les 5 m).

— La tête de l'horizon B''''_2 correspond à un nouveau segment sec, mais on pressent un début d'humectation du profil à partir de 2 m (dans l'horizon BC), qui annonce la nappe profonde.

— Plus à l'aval, on atteint la nappe profonde (nappe III), dont le toit se rapproche de la surface : il est à 3,5 en $G_{II}19$, à 2 m en $G_{II}20$.

Observations sur la dynamique des nappes

Les observations précédentes ont été effectuées le 19 août 1971, le lendemain d'une pluie de 64 mm. Au cours des trois jours suivants, pendant lesquels il n'a pas plu, on a mesuré périodiquement le niveau piézométrique des nappes :

— Le toit de la nappe I, immobile à l'amont, s'abaisse progressivement lorsque l'on va vers le profil $G_{II}10$ où son abaissement est maximum et a atteint 15 cm en 3 jours. Au cours de cette même période, l'extrémité aval s'est abaissée de 5 cm (cf. tracé en points fig. 66).

— Le toit de la nappe II reste immobile à la précision des mesures près (1 à 2 cm).

— Le toit de la nappe III reste également immobile. On notera par ailleurs que cette nappe ne fluctue que d'une quarantaine de centimètres entre la saison sèche (janvier) et la saison des pluies (cf. fig. 66).

Conséquences

La nappe I, dont le niveau a probablement monté aussitôt la pluie du 18, voit ensuite son toit s'abaisser lentement à l'aval. Cette nappe s'infiltre donc à ce niveau selon un flux matérialisé par les flèches. L'absence de répercussion de cet abaissement à l'amont est probablement dû à ce que le domaine initial achève de se ressuyer et alimente encore un peu la nappe.

Les profils hydriques séparant les nappes I et II indiquent que l'eau, qui s'est infiltrée à ce niveau, bute sur la limite supérieure du B'''_2 et s'écoule latéralement vers les nappes adjacentes à partir du point haut de cette limite, situé en $G_{II}13$[1]. En effet, la quantité d'eau

1. Cette observation montre une fois de plus l'association de la morphologie columnaire avec une circulation hypodermique au contact d'un horizon A sableux et d'un horizon B argileux, compact prismatique.

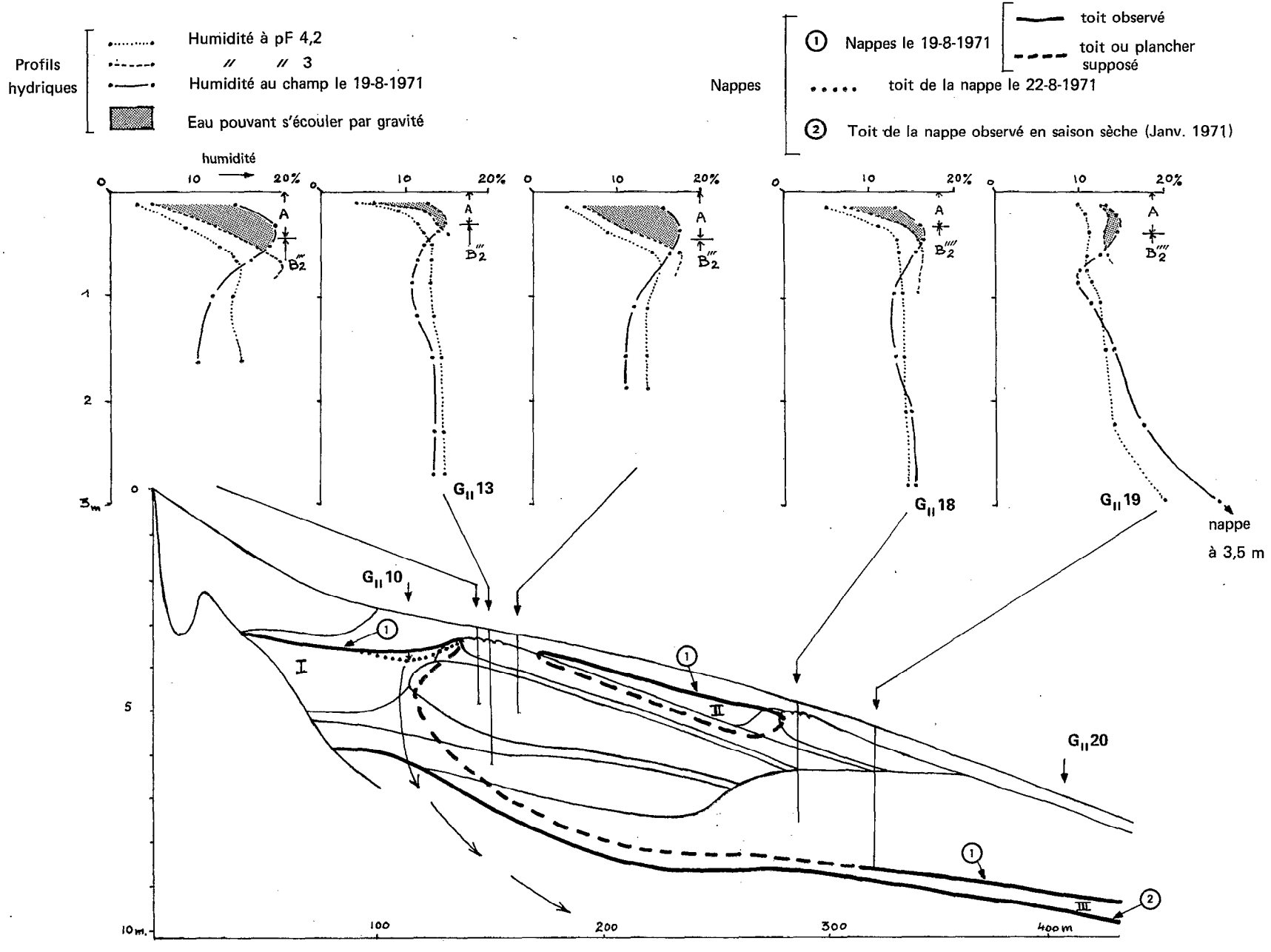


Fig. 66. — Garango II. Régime hydrique.

libre présente dans le A, augmente latéralement, aussi bien vers l'amont que vers l'aval à partir de $G_{II}13$.

La nappe II ne s'écoule pas. Il s'agit donc d'une nappe perchée et captive, sans exutoire appréciable.

La nappe III n'enregistre aucune variation de niveau. Or cette nappe est en continuité avec la nappe I ainsi qu'on a pu le constater en saison sèche (cf. fig. 66). Toutefois, sa partie supérieure, qui baigne la base des sols vertiques et du BC, est piégée par ce magasin compact, peu perméable, ce qui fait qu'elle reste indifférente aux injections d'eau qui se font à l'amont. Il est donc probable que la circulation de l'eau qui s'infiltre sous la pression hydrostatique de la nappe I se fait en profondeur, dans l'arène sableuse (cf. flèches).

A l'aval du versant, le fond de l'axe de drainage est humide et la nappe très superficielle (50 cm). Entre les averses, le drainage du bassin s'effectue par inféro-flux.

De l'ensemble de ces observations, on a déduit le tracé le plus probable du toit ou du plancher non repéré des nappes I et II (figure 66, lignes en tireté).

B. DONNÉES GÉOCHIMIQUES RELATIVES AUX NAPPES DE LA TOPOSÉQUENCE DE GARANGO II

1. Méthodes analytiques

Des prélèvements d'eau ont été effectués en divers points des nappes repérées tout au long de la séquence de Garango II. Ces eaux ont été analysées aux Laboratoires Centraux de l'O.R.S.T.O.M., sous la direction de M. PINTA. Elles n'ont pas été filtrées mais laissées à décanter pendant trois mois.

Le potassium et le sodium ont été dosés par spectrophotométrie d'émission de flamme, le magnésium et le calcium par spectrophotométrie d'absorption atomique sur échantillon acidifié.

Le fer et l'aluminium ont été dosés par colorimétrie après acidification (HCl 1 %).

La silice a été dosée sur échantillon brut par colorimétrie.

On notera que, dans le cas des dosages sur échantillon acidifié, de fines particules d'argile, qui se seraient maintenues en suspension, peuvent être détruites et leurs éléments composants dosés à l'égal des éléments en solution vraie. Tel est le cas en particulier de l'aluminium et du fer. La silice dosée correspond par contre strictement à de la silice en solution vraie.

2. Les résultats et leur interprétation à la lumière des données hydrodynamiques (fig. 67).

(a) LA NAPPE I :

La nappe I est, ainsi que nous l'avons constaté précédemment, la seule nappe circulante de la toposéquence. On y constate une augmentation importante, de l'amont vers l'aval, des éléments suivants : Al, Fe, K, Mg. Le maximum est atteint à la tête de l'horizon B''_2 qui apparaît de nouveau comme un point géochimique particulier. Une remarque s'impose toutefois immédiatement, c'est que les quantités de fer et surtout d'aluminium sont sans commune mesure avec la solubilité de ces éléments dans les conditions de pH existantes. L'aluminium en particulier est pratiquement insoluble dans ces conditions. Le parallélisme entre l'accroissement du fer et de l'aluminium indique que ces éléments sont associés sous forme particulaire, en l'occurrence dans des particules argileuses très fines qui se maintiennent en suspension. Et les variations latérales enregistrées correspondent en fait à une augmentation, de l'amont vers l'aval, de la charge solide de la nappe, autrement dit à un gradient du pouvoir dispersant de cette nappe croissant dans le même sens. On notera dès maintenant que, compte tenu de ce que cette nappe s'épuise à l'aval, un tel gradient est éminemment favorable au transport latéral des particules argileuses en suspension.

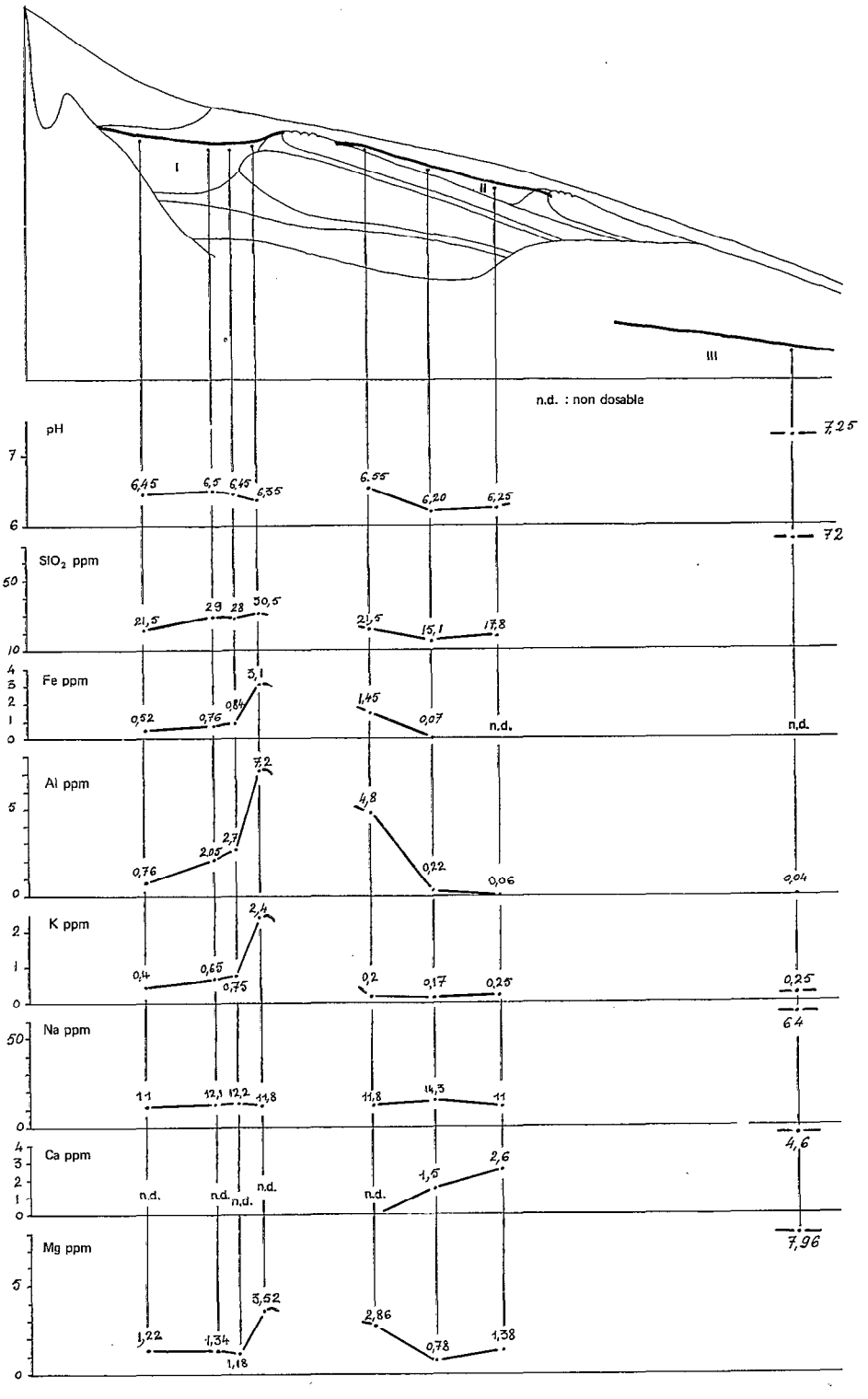


FIG. 67. — Garango II. Chimie des eaux.

Les bases présentent deux comportements différents selon leur nature : le sodium et le calcium, peu abondants, le dernier étant même non dosable par les méthodes appliquées aux éléments majeurs, ne montrent pas de variation latérale significative. Au contraire, le potassium et le magnésium augmentent parallèlement au fer et à l'aluminium. Ce parallélisme, joint au fait que ces deux bases sont justement les seules qui soient susceptibles d'entrer dans les structures d'argiles en position interfoliaire (K) ou dans le feuillet (Mg), amène à admettre que ces éléments sont aussi inclus dans la charge solide. Ils traduisent alors la présence dans cette charge solide des interstratifiés illite-montmorillonite décelés par l'analyse minéralogique.

En fin de compte la seule variation sûre de la charge soluble concerne la silice dont les teneurs augmentent de façon significative vers l'aval. Cet accroissement des teneurs en silice, joint à la relative pauvreté en bases (sous forme soluble), est favorable aux mécanismes de transformation des interstratifiés en montmorillonite (TARDY, 1969) qui pourrait ainsi se réaliser de façon continue lors des submersions par la nappe. Au contraire, les conditions de confinement ionique, décelées grâce à l'étude du complexe absorbant, et nécessaires à la néoformation de la montmorillonite, ne sont susceptibles de se produire que lors des périodes de dessèchement.

(b) LA NAPPE II

La dynamique de la nappe n° II est toute différente de celle de la nappe n° I. Il s'agit en effet d'une nappe perchée captive. Les circulations latérales y sont toutefois possibles par suite de l'inclinaison vers l'aval de son plancher, mais seulement lors de l'installation de la nappe et lors de son retrait sous l'effet de l'évapotranspiration[1].

Les teneurs élevées en fer et aluminium du prélèvement amont sont à interpréter, de la même façon que dans la nappe I, par le maintien en suspension de particules argileuses. Mais ces deux valeurs diminuent vers l'aval jusque vers la solubilité réelle de l'alumine et jusqu'à la disparition du fer. Et cette diminution coïncide avec celle du pouvoir dispersant de la nappe, très visible lors de la mise en décantation des flacons. Ceci montre à nouveau que l'on a affaire à des particules, mais ici, la faible teneur en potassium dans le prélèvement amont, et le maintien du magnésium en proportion constante par rapport au fer et à l'aluminium, signifierait que les prélèvements ont été faits dans le domaine de la montmorillonite.

(c) LA NAPPE III

Bien que reliée hydrostatiquement à la nappe I, la nappe III apparaît comme très peu mobile et ce caractère a été relié à la faible perméabilité du magasin qui freine le drainage. Ainsi cette nappe est vraisemblablement en équilibre avec le milieu qu'elle baigne, milieu où l'on a constaté une altération des minéraux primaires aboutissant à la néoformation de la montmorillonite. On constate d'une part, l'absence de charge solide (cf. Fe et Al) d'autre part, une réaction légèrement alcaline et une charge soluble importante comportant silice, calcium, sodium, magnésium. Un tel milieu géochimique, « confiné » en silice et en bases est justement favorable à la néoformation de la montmorillonite.

C. CONSÉQUENCES SUR LA DYNAMIQUE DES ÉLÉMENTS FIGURÉS DANS LES SYSTÈMES ÉLUVIAUX-ILLUVIAUX DES TOPOSÉQUENCES CONTRASTÉES

L'analyse des données morphologiques et granulométriques amenait à admettre deux voies de migration des particules argileuses dans l'horizon lessivé A'_2 :

— Migration verticale d'argile associée à des sables fins aboutissant à la formation de l'horizon illuvial inférieur.

1. On constate effectivement en saison sèche qu'un résidu de cette nappe persiste dans l'horizon A'2 B'''' qui précède l'horizon B''''2.

— Migration latérale d'argile seule aboutissant à la formation des horizons d'accumulation en langue.

L'étude de la dynamique et de la charge de l'eau dans la toposéquence de Garango II éclaire les mécanismes de ces deux voies de migration.

On constate tout d'abord que l'horizon lessivé constitue le magasin d'une nappe qui s'installe probablement dès le début de la saison des pluies, grâce à l'appoint de l'eau ruisselant sur l'inselberg ; cette nappe fluctue ensuite au gré des précipitations, les fluctuations les plus amples se situant à l'aval du domaine lessivé.

Les produits solides du domaine initial entraînés par le lessivage aboutissent dans cette nappe. La petite quantité de squelette fin mobilisée, ainsi qu'une partie de l'argile, probablement la plus grossière, décante et alimente l'horizon illuvial inférieur. Le reste de l'argile mobilisée se maintient en suspension et migre vers l'aval, migration favorisée par l'accroissement dans le même sens du pouvoir dispersant de l'eau.

L'accumulation de l'argile en suspension sous forme d'un horizon illuvial, perché dans le profil et à limite tranchée, est liée aux fluctuations de la nappe. En effet, celle-ci abandonne périodiquement, lors de ses retraits, de l'eau chargée suspendue, qui est soumise à l'évapotranspiration. Cette évapotranspiration prélevant en premier lieu la partie supérieure de la couche humide, provoque à ce niveau un dépôt préférentiel d'argile, qui entraîne un certain colmatage des vides, donc une diminution mais aussi un affinement de la porosité. Cet affinement de la porosité, par rapport aux couches inférieures, favorise ensuite le maintien d'eau suspendue à ce niveau (Rode, 1956 ; Miller *et al.*, 1962) et y accentue de ce fait l'accumulation d'argile. Une telle interprétation est en particulier susceptible d'expliquer la brutalité de l'accroissement de la teneur en argile au sommet des horizons B en langue (et de ceux-là seulement) et sa décroissance progressive ensuite.

Cette relation entre la localisation et le profil textural de l'horizon B illuvial et la fluctuation d'une nappe peu profonde a déjà été soulignée par Runge (1973) qui oppose ce type d'horizon B à celui à transitions progressives, qui s'établit sous l'effet de la simple percolation sans action de nappe (cf. fig. 68. On notera que le profil textural de l'horizon B lié à un battement de nappe présenté par Runge est de même type que celui des horizons B en langue de Garango II — fig. 35).

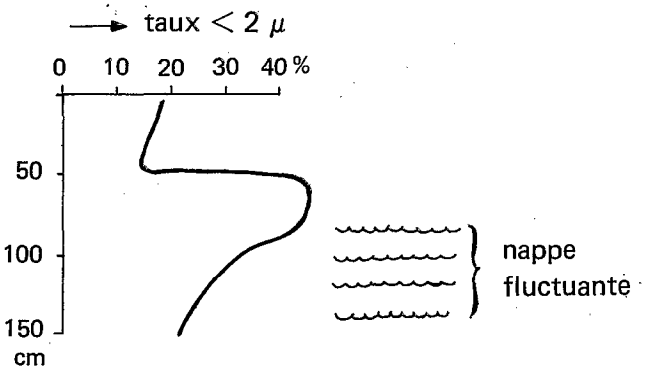


Fig. 68. — Profil textural d'un Mollic Albaqualf soumis à une nappe fluctuante. D'après Runge, 1973.

Il apparaît donc que la localisation d'un horizon B en langue est réglée par la zone de battement de nappe située immédiatement à son amont. Dès lors, le fait que l'horizon B''_2 ait une pente supérieure à celle de la surface topographique peut être attribué à ce que la zone de battement de la nappe s'est progressivement rapprochée de la surface. Et cette remontée du toit de la nappe constitue la conséquence logique de la remontée vers l'amont du domaine illuvial, qui limite ainsi de plus en plus le réceptacle (constitué par le domaine initial et par le domaine lessivé) offert à l'eau d'infiltration. On a tenté de représenter cette évolution dans le temps sur la figure 69.

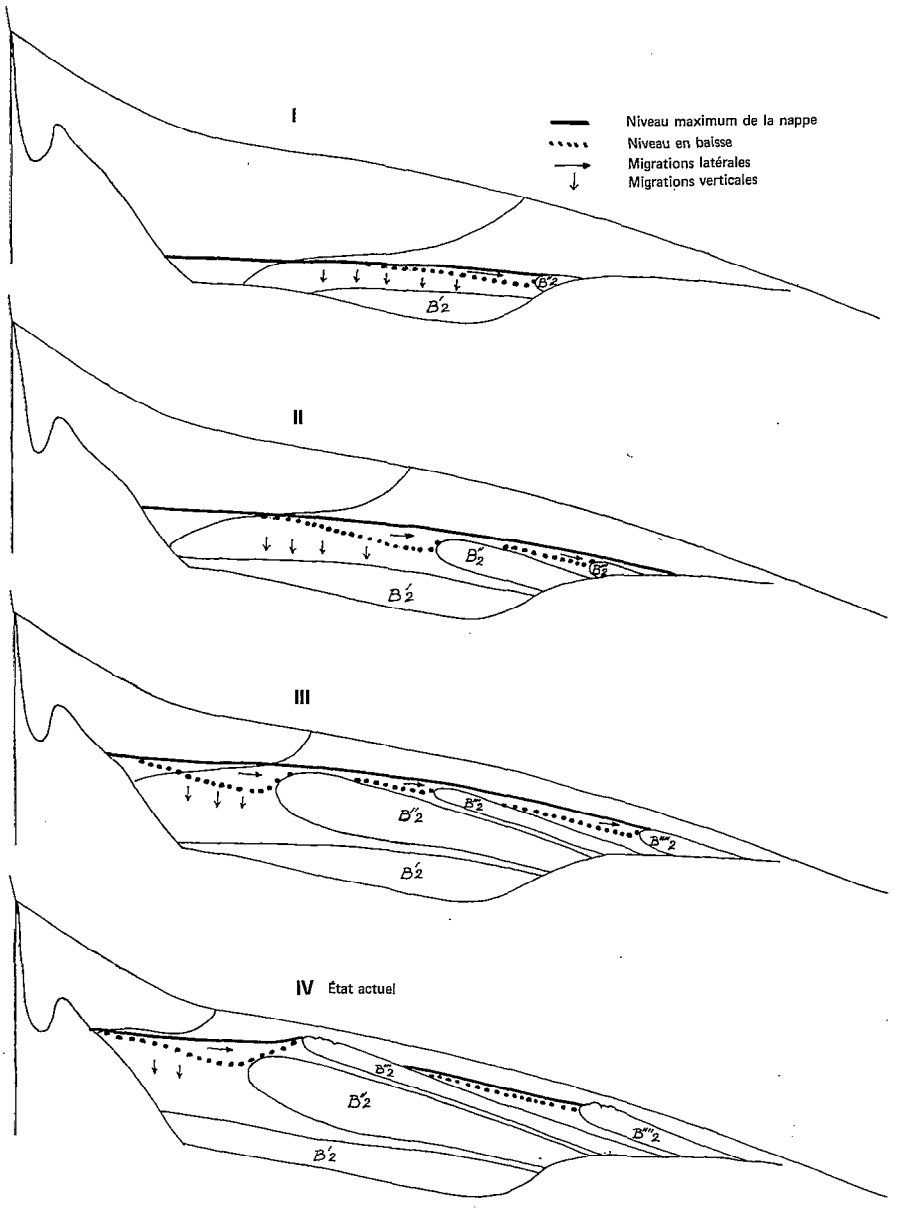


FIG. 69. — Garango II. Schéma proposé pour la formation des divers horizons B illuviaux de la toposéquence.

Le profil textural de ce type d'horizon B, où l'accumulation maximum se situe au sommet, puis décroît vers le bas (cf. fig. 68 et fig. 35), explique la persistance d'horizons incomplètement illuviés, ou horizons A_2B, à la partie inférieure des B en langue.

L'inclinaison du sommet de l'horizon B''_2 détermine la formation d'une nappe secondaire alimentée par l'amont mais qui s'isole de la nappe primaire lors des baisses de niveau liées à l'infiltration et à l'évapotranspiration. Dans cette seconde nappe, l'argile en suspension apportée lors des phases d'alimentation, est susceptible de s'accumuler latéralement selon un processus analogue à celui précédemment décrit, pour donner un nouvel horizon (B'''_2) en langue (fig. 69 stade II). Lors des périodes de recharge de la nappe, le niveau hydrostatique est commun à l'ensemble du système et sa montée provoquée par l'accroissement du domaine

illuvial, va déterminer la remontée du B'''_2, parallèlement à celle du B''_2, la formation d'une nappe tertiaire et de l'horizon B''''_2 (fig. 69 stade III). On assiste ainsi à la multiplication des structures aussi bien dans le sens vertical (empilement des horizons illuviaux) que latéralement avec la formation de systèmes hydrodynamiques successifs.

Dans l'état actuel (stade IV), l'horizon B'''_2 s'est suffisamment rapproché de la surface pour isoler la nappe tertiaire, la nappe secondaire étant réunie à la nappe primaire. Cet isolement de la nappe tertiaire entraîne la suppression de son alimentation en eau et en charge solide issues de l'amont, ce qui, logiquement, doit stopper la progression du B''''_2.

D. CONCLUSIONS

L'étude du régime hydrique et des eaux de la toposéquence de Garango II nous apporte une explication relativement simple de la formation des diverses structures illuviales des toposéquences contrastées. Il y a bien sûr des variantes, mais les mécanismes restent les mêmes. Ainsi, à Diébiga, la suralimentation de l'aval n'est pas due à un impluvium d'appoint rocheux, mais à cet extraordinaire système de drainage que constituent les horizons lessivés profonds. Cette toposéquence pourrait donner lieu à un schéma du même type que celui de la figure 69 ; elle en serait, du point de vue du développement des horizons illuviaux à un stade intermédiaire entre I et II. Mais il n'est pas impossible qu'une recherche attentive, éclairée par ce que nous savons maintenant, permette de déceler l'amorce d'un horizon B'''_2 au contact du barrage aval constitué par l'altération vertique d'amphibolite.

La dynamique des toposéquences contrastées, du moins en ce qui concerne les horizons lessivés et illuviaux, est sans aucun doute actuelle. Elle est régie par des systèmes de nappes dont l'évolution et, très probablement, l'installation sont commandées par la différenciation pédologique elle-même.

Quatrième Partie

INTERPRÉTATION D'ENSEMBLE

Introduction

On a étudié, en Haute-Volta orientale, deux sortes de toposéquences pédologiques que l'on a, dans un premier temps, distinguées par des caractères purement descriptifs ayant trait à l'importance de leurs variations latérales. Ainsi a-t-on examiné, successivement ou de façon comparative, des toposéquences à faible différenciation latérale, ou toposéquences monotones, et des toposéquences à différenciation latérale accentuée, ou toposéquences contrastées.

En se fondant sur les faits précédemment établis et les conclusions que l'on en a tirées, il est possible dès maintenant d'adopter une terminologie à la fois plus génétique et plus significative :

— Les constituants des sols des toposéquences monotones se forment sur place par altération des minéraux primaires. Ils comportent toujours de la montmorillonite. Sans oublier l'importance des réorganisations et des transformations qui reviennent à la pédogenèse proprement dite, il sera commode, dans cet exposé synthétique, de rassembler les toposéquences monotones sous le vocable de « ***couvertures pédologiques d'altération montmorillonitique*** ».

— La différenciation latérale accentuée des toposéquences contrastées est étroitement liée à des transports latéraux de matière. L'ensemble de ces toposéquences peut donc être caractérisé par l'expression « ***couvertures pédologiques à redistribution latérale*** ».

Il est important de préciser que cette terminologie n'est nullement proposée pour une utilisation générale. En effet, elle manque d'homogénéité, les caractères retenus n'étant pas homologues. Elle est par contre très adaptée à l'optique de l'exposé qui va suivre, car elle désigne sans ambiguïté les deux types de couverture pédologique qui nous intéressent ici, tout en rappelant les mécanismes majeurs mis en lumière précédemment et que l'on va à nouveau envisager dans cette quatrième partie.

Ces couvertures pédologiques se situent dans un cadre géologique, climatique et historique limité. Les ***roches mères*** sont des granitogneiss, caractérisés, du point de vue minéralogique, par une fraction quartzeuse importante. Le ***domaine climatique*** exploré inclut la frange méridionale de la zone sahélienne et la moitié nord de la zone soudanienne ; il est compris entre les isoyètes 500 et 1 000 mm. Les toposéquences sont situées sur les ***modelés récents*** (« bas glacis » Michel, 1959, 1969), exempts d'héritage pédologique très ancien. Ainsi l'étude des sols développés sur les matériaux d'altération kaolinique anciens, qui occupent de vastes surfaces en Haute-Volta n'est pas abordée dans ce travail. D'autres chercheurs s'y attachent (Kaloga, Leprun, Levêque).

Les données recueillies ont tout d'abord été utilisées pour définir à diverses échelles (assemblage élémentaire, horizon, profil, versant) les principales ***organisations pédologiques*** par leurs caractéristiques, leur distribution spatiale, leurs relations chronologiques et causales.

On a ensuite étudié les ***constituants*** de ces organisations : nature, distribution et, éventuellement, migrations et transformations.

Enfin la dynamique des toposéquences a été abordée par le biais du régime hydrique.

Ces résultats doivent désormais être synthétisés et l'on doit estimer la possibilité de leur généralisation en les situant dans un cadre climatique et historique légèrement plus vaste. Ces interprétations synthétiques seront menées en deux étapes :

1. La différenciation de chacun des deux types de couverture pédologique.
— Ses variations dans l'espace en fonction de la latitude.
2. Les relations entre ces deux types de couverture et leur déterminisme général.
— La notion d'équilibre pédobioclimatique.

Chapitre VII

Les couvertures pédologiques d'altération montmorillonitique

I. LA DIFFÉRENCIATION DES COUVERTURES D'ALTÉRATION MONTMORILLONITIQUE

A. CARACTÈRES GÉNÉRAUX

La différenciation des sols de cette catégorie est essentiellement ***verticale et lithodépendante.*** En effet, d'une part, les filiations entre organisations et entre constituants, ainsi que les migrations de matière s'établissent selon une direction verticale. D'autre part, la différenciation du profil est, à climat constant, plus fortement influencée par la nature de la roche mère que par tout autre facteur et en particulier la position topographique.

B. ASPECT MORPHOLOGIQUE

1. Échelle microscopique

On distingue les transformations suivantes :

— ***l'altéroplasmation,*** qui consiste en la formation de plasma argileux sur place par altération des minéraux primaires. Il s'individualise ainsi un fond matriciel caractérisé par un plasma asépique et un squelette constitué de minéraux primaires résiduels non déplacés.

— ***la pédoturbation,*** qui réorganise plus ou moins sur place le fond matriciel d'altération sous l'effet des mécanismes pédologiques : contraintes internes dues aux gonflements et retraits successifs, activité biologique. Cette transformation comporte une réorganisation du plasma argileux, qui s'oriente (c'est la ***pédoplasmation,*** FLACH *et al.*, 1968) mais aussi des déplacements du squelette : dissociation des fragments des minéraux primaires rendus fragiles par l'altération, dispersion du squelette fin ainsi formé au sein du plasma.

— ***la migration de matière*** sous forme soluble ou figurée qui se manifeste morphologiquement soit par la nodulation (migration en solution : oxydes métalliques, calcaire) soit par la formation de cutanes d'illuviation (migration particulaire).

Ces transformations ne sont pas spécifiques des couvertures pédologiques d'altération montmorillonitique mais les deux premières y revêtent une importance particulière dans la différenciation du profil. L'altéroplasmation précède évidemment la pédoturbation mais celle-ci est plus ou moins précoce en fonction de la capacité de gonflement et de retrait du plasma. Gonflement et retrait sont à leur tour fonction du taux de montmorillonite. Ils constituent le principal agent de pédoturbation dans ces sols et déterminent l'apparition d'une porosité de type fissural qui domine jusqu'au sommet de l'horizon B, où elle fait place à une porosité tubulaire d'origine biologique.

Les migrations d'oxydes métalliques (Fe, Mn) morphologiquement perceptibles (nodulation) se font par imprégnation de plasma ou de minéraux altérés sans en perturber l'organisation. Une telle migration ne peut se faire que sous forme de solution. Ce n'est que lorsque l'accumulation est suffisante pour modifier les propriétés optiques puis mécaniques du milieu qu'elle imprègne, qu'elle acquiert ses propres organisations. Ainsi peut-on suivre l'apparition des nodules diffus puis des nodules circonscrits. Il en est de même pour la nodulation calcaire.

Des migrations d'argile ont été décelées dans tous les profils, mais elles sont limitées, bien que variables d'un type de sol à l'autre : très faibles dans les sols bruns subarides, ce qui va de pair avec une différenciation texturale presque nulle de l'horizon A, elles sont maximum au sommet de l'horizon columnaire des solonetz où elles sont susceptibles d'être à l'origine, avec l'érosion superficielle, du contraste textural des horizons A et B de ces sols.

Le problème de la genèse des horizons A est cependant loin d'être élucidé dans les régions méridionales où, aux facteurs pédogénétiques naturels, s'ajoutent les actions anthropiques. Ainsi, le déficit superficiel en argile des sols bruns eutrophes de Garango I ne s'explique entièrement par aucun des mécanismes mis en évidence dans ce travail. On en est réduit aux suppositions et seules les études de dynamique actuelle pourront peut-être nous faire progresser.

2. Échelle macroscopique

Les caractéristiques macroscopiques s'éclairent à la lumière des données micromorphologiques. Ainsi :

— une altéroplasmation ménagée, tardivement relayée par la pédoturbation, détermine un passage progressif entre le matériau arénacé à structure conservée et l'horizon B. Tel est le cas du sol amont de Garango I ;

— une pédoturbation précoce entraîne au contraire des transitions plus brutales entre horizons C et B (vertisols de Garango I, solonetz de Tassamakat) ;

— la structure prismatique, plus ou moins large, qui caractérise tous les horizons B de ces couvertures pédologiques constitue l'expression macroscopique de la pédoturbation par gonflement et retrait ;

— enfin, la faiblesse des migrations particulaires (exception faite des migrations superficielles propres aux solonetz sahéliens), l'étroite relation entre la genèse du plasma et les minéraux altérables disponibles dans le matériau originel, expliquent le caractère lithodépendant des sols et l'absence ou la faiblesse des différenciations latérales, abstraction faite de celles liées aux variations pétrographiques de la roche mère.

C. ASPECT GÉOCHIMIQUE ET MINÉRALOGIQUE

La différenciation des couvertures pédologiques d'altération montmorillonitique correspond à une transformation géochimique par lixiviation verticale. Ces couvertures présentent donc un caractère *éluvial* (Perelman, 1965).

Mais ce caractère éluvial est peu accentué puisqu'il aboutit :

— de façon générale mais plus ou moins intense, à ***l'accumulation relative de la montmorillonite*** par maintien sur place de l'aluminium, du fer et perte modérée de silice ;

— dans certaines conditions à ***l'accumulation relative ou absolue et alors verticale du calcaire.***

Les transformations géochimiques atteignent leur maximum non en surface mais à un niveau variable des horizons B. Cette altération préférentielle, mise en évidence par l'étude minéralogique du squelette, joue un rôle important dans la différenciation du profil textural.

D. CONCLUSIONS

Aux couvertures pédologiques d'altération montmorillonitique correspondent :

— les organisations dominantes suivantes : assemblages porphyrosqueliques, porosités fissurales, plasmas initialement asépiques devenant orientés par contrainte ;

— des constituants plasmiques où la montmorillonite est prépondérante (au moins à la base du profil). Elle est associée à la kaolinite. Ces minéraux argileux sont néoformés sur place par altération.

— des accumulations de calcaire (éventuellement).

II. VARIATIONS LATITUDINALES DES COUVERTURES PÉDOLOGIQUES D'ALTÉRATION MONTMORILLONITIQUE

A. VARIATIONS CONSTATÉES DANS LE CADRE DE CETTE ÉTUDE

Si l'évolution des couvertures pédologiques d'altération montmorillonitique sur roches mères granitogneissiques résulte principalement des mécanismes évoqués dans les paragraphes précédents, on n'en constate pas moins d'importantes variations latitudinales. Celles-ci se manifestent de façon particulièrement nette dans la différenciation minéralogique et géochimique.

1. Variations minéralogiques

La montmorillonite domine dans l'ensemble du profil et de façon sensiblement uniforme sur la totalité des interfluves en zone sahélienne, tandis qu'elle laisse progressivement la place à la kaolinite à l'amont dans la zone soudanaise, amorçant ainsi un recul vers l'aval. On peut dire inversement avec H. PAQUET (1969) qu'elle envahit les paysages, lorsque l'on va vers les zones arides.

On doit toutefois rappeler que cette différenciation minéralogique latérale, bien que réelle, est fortement amplifiée dans l'exemple étudié en zone soudanaise (Garango I) par la basicité plus grande, à l'aval, de la roche mère.

2. Variations géochimiques

Le pH est uniformément neutre à basique au Nord (horizon A des solonetz exclu), alors qu'au Sud apparaît un domaine légèrement acide et désaturé à l'amont ; l'acidification et la désaturation accompagnent le recul de la montmorillonite.

Une accumulation ionique affecte l'horizon B sur l'ensemble du modelé en zone sahélienne. Elle se manifeste dans l'équilibre des bases échangeables par l'abondance relative du sodium, ainsi que dans la présence de petites quantités de sels solubles. Cette accumulation ionique disparaît vers le Sud.

Le calcium libéré par l'altération, lorsqu'il est suffisamment abondant dans la roche mère, s'accumule à la base des profils sous forme de carbonate dans la zone sahélienne ; cette accumulation est uniforme sur l'ensemble du modelé. Au contraire, en zone soudanaise, pour des teneurs en calcium identiques ou même légèrement supérieures dans la roche mère, il est exporté des amonts. Cette disparition du calcaire précède notablement le recul de la montmo-

rillonite (TARDY *et al.*, 1973). L'accumulation de calcium (exprimé sous forme de carbonate), constitue l'une des caractéristiques géochimiques majeures des sols des régions granitiques en ***zone sahélienne.*** Le calcium apparaît ainsi comme un élément typomorphe de ces sols (PERELMAN, 1967).

Le fer libéré par l'altération se maintient sur place en zone sahélienne, lorsque le milieu n'est pas hydromorphe. Ceci est conforme aux conclusions de BUOL (1965) sur les sols des régions arides et semi-arides. En zone soudanaise, apparaît une légère accumulation absolue à l'amont. Ainsi, le fer tendrait à remplacer le calcium comme élément typomorphe dans les sols bruns eutrophes.

3. Conséquences sur la dynamique des éléments dans les paysages

L'ensemble de ces résultats traduit une éluviation par lixiviation décroissante lorsqu'augmente l'aridité. Si les toposéquences étudiées ne nous donnent que des jalons de cette variation dans l'espace, les données de la cartographie permettent d'en saisir la continuité.

Mais l'absence de termes illuviaux dans les paysages conduit à envisager des migrations soit en profondeur, en dehors de la couverture pédologique, soit tout à fait superficielles. On examinera successivement ces deux éventualités.

Migrations en profondeur : on a jusqu'ici limité nos raisonnements à la couverture pédologique et à la partie supérieure des matériaux originels, qui constituent un système incomplet puisque les transformations supergènes affectent une couche de l'écorce plus épaisse, allant de la surface jusqu'à la roche dure. De ce fait se pose le problème de la destinée des ions lixiviés car, ainsi que le souligne MILLOT (1971) « l'eau de pluie, en pénétrant dans le sol, ne peut s'enfoncer indéfiniment. Elle ne tarde pas à rencontrer une structure ou une autre qui la canalise vers l'aval ». Mais nous n'avons pas décelé d'itinéraires latéraux de matière ou de solutions au sein du sol, et certains exemples (Soffokel, Garango I) nous montrent même qu'un élément aussi mobile que le calcium ne s'accumule qu'à la verticale des roches mères susceptibles de le fournir en quantités suffisantes. On est donc amené à admettre une exportation latérale, actuelle ou ancienne selon le cas, par l'intermédiaire de nappes profondes qui entraînent (ou ont entraîné) ces éléments dissous hors des paysages, ou bien les accumulent à des profondeurs auxquelles nous n'avons pas accès.

En ce cas, seuls les avals des toposéquences qui seraient influencés par la nappe hydrostatique seraient susceptibles de se « nourrir » aux dépens des amonts (PAQUET, 1969). Les exemples de ce type sont en effet nombreux. Ce sont en particulier les toposéquences juvéniles des polders du lac Tchad étudiées par CHEVERRY (1974). D'autre part, TARDY (1969) a mis en évidence de telles migrations latérales dans les nappes en France et en Côte-d'Ivoire.

Mais il est possible d'envisager que, les nappes hydrostatiques se maintenant en profondeur, l'accumulation des ions lixiviés se fasse en dehors de la couverture pédologique, qui resterait alors, dans son ensemble, de type éluvial. Ce caractère éluvial s'affaiblirait à mesure que diminue la pluviosité. Tel semble être le cas des couvertures pédologiques d'altération montmorillonitique en Haute-Volta orientale.

Migrations superficielles : Des migrations latérales et superficielles de matière et de solutions ont été mises en évidence dans la toposéquence à solonetz et sols bruns subarides alcalisés de Tassamakat, tant par l'étude morphologique que par celle de la dynamique de l'eau. Elles associent lessivage et érosion superficielle et s'effectuent aux dépens du sommet d'un horizon B que l'ensemble des résultats incite à attribuer essentiellement à l'altération. Elles apparaissent donc comme surimposées aux formations pédologiques autochtones et comme secondaires à leur différenciation. Loin de contribuer à leur développement, elles participent au contraire à leur destruction.

De telles migrations superficielles de matière affectent aussi très vraisemblablement les glacis à sols bruns subarides de type Soffokel, mais l'absence de différenciation pédologique associée les rend plus difficiles à mettre en évidence.

Les produits entraînés s'accumulent en des plaines alluviales situées à l'aval des bassins et, dans une moindre mesure, dans les parties basses des glacis. On en a en particulier décelé la présence dans la partie supérieure des profils de la plaine aval de Tassamakat.

Ces transports latéraux ne se manifestent avec cette ampleur qu'en zone sahélienne où ils sont favorisés par une végétation chétive et très discontinue. Bien qu'ils soient étrangers à la différenciation de la majeure partie du profil, ils n'en contribuent pas moins à appauvrir les amonts en matière qu'ils redistribuent vers des avals plus ou moins lointains, et leur résultante concourt à l'aplanissement du modelé.

B. ÉLÉMENTS DE COMPARAISON AVEC LES SOLS SUR MIGMATITE EN ZONE ARIDE

Des incursions au Sahara mauritanien (Boulet et Nahon, 1970) permettent d'élargir le champ des observations. Les faits supplémentaires dont on dispose ainsi sont toutefois limités et incomplets, et ils ne pourront nous donner que des indications sur la continuité éventuelle des gradients latitudinaux mis en évidence plus au Sud.

Les observations qui nous intéressent ont porté sur les sols des régions migmatitiques du Taziast (16°30′ W-20°30′ N, pluviosité actuelle estimée à 20 mm) développés sur de longs glacis à pente faible (< 1 %), de même type que les glacis subarides de Haute-Volta. Ces glacis sont dépourvus de relief dominant et forment des interfluves très surbaissés. Ils portent des sols peu épais (60 cm) dont le profil se résume comme suit :

— Sous une croûte de 1 cm brun clair, finement sablo-argileuse, très poreuse, et qui enchasse la base des galets d'un reg, un horizon brun de 10 cm, moyennement calcaire, argileux, à structure polyédrique 1 cm en assemblage prismatique 3-4 cm.

— Un horizon de 40 cm, brun à plages plus claires calcaires, de même texture, à structure cubique de 2 cm, assemblée en prismes de 5 cm, passant à sa base en une dizaine de centimètres à une arène migmatitique assez riche en minéraux ferromagnésiens.

De tels sols, que l'on peut appeler sols bruns isohumiques, présentent des ressemblances certaines avec les sols bruns subarides de Haute-Volta, tant par leur couleur que par leur différenciation structurale. Mais leur épaisseur est bien moindre (60 cm contre 150) et surtout, la répartition du calcaire est presque uniforme sur tout le profil avec seulement un léger maximum vers le milieu du deuxième horizon. La généralité de la morphologie de la partie supérieure du profil (0-20 cm environ) d'une part, de la présence de calcaire dès la surface (croûte exclue) d'autre part, sur la totalité de ce type de glacis, a été contrôlée par de nombreuses fouilles rapides. Il n'y a donc pas de lixiviation notable du calcaire. Les analyses d'argile effectuées sur des sols voisins montrent une très large prédominance de la montmorillonite dès la surface.

Ces observations, bien que très insuffisantes, semblent confirmer la prolongation vers le Nord des variations amorcées en Haute-Volta concernant la diminution de la lixiviation du calcaire, qui tend à s'annuler, et l'invasion du milieu par la montmorillonite, qui se parachève.

On a représenté ces variations de façon schématique sur la figure 70 (coupes I à III), en ne retenant que la composition minéralogique de la fraction argileuse et la localisation des éléments typomorphes, calcaire et fer.

C. PROBLÈME DE L'ACTUALITÉ DES DIFFÉRENCIATIONS PÉDOLOGIQUES QUE NOUS OBSERVONS

L'incursion que nous venons de faire en zone désertique présente comme intérêt supplémentaire celui d'offrir un jalon sûr concernant l'héritage pédologique des climats anciens. En effet, bien que l'on se soit situé sur la surface la plus basse, considérée comme la plus

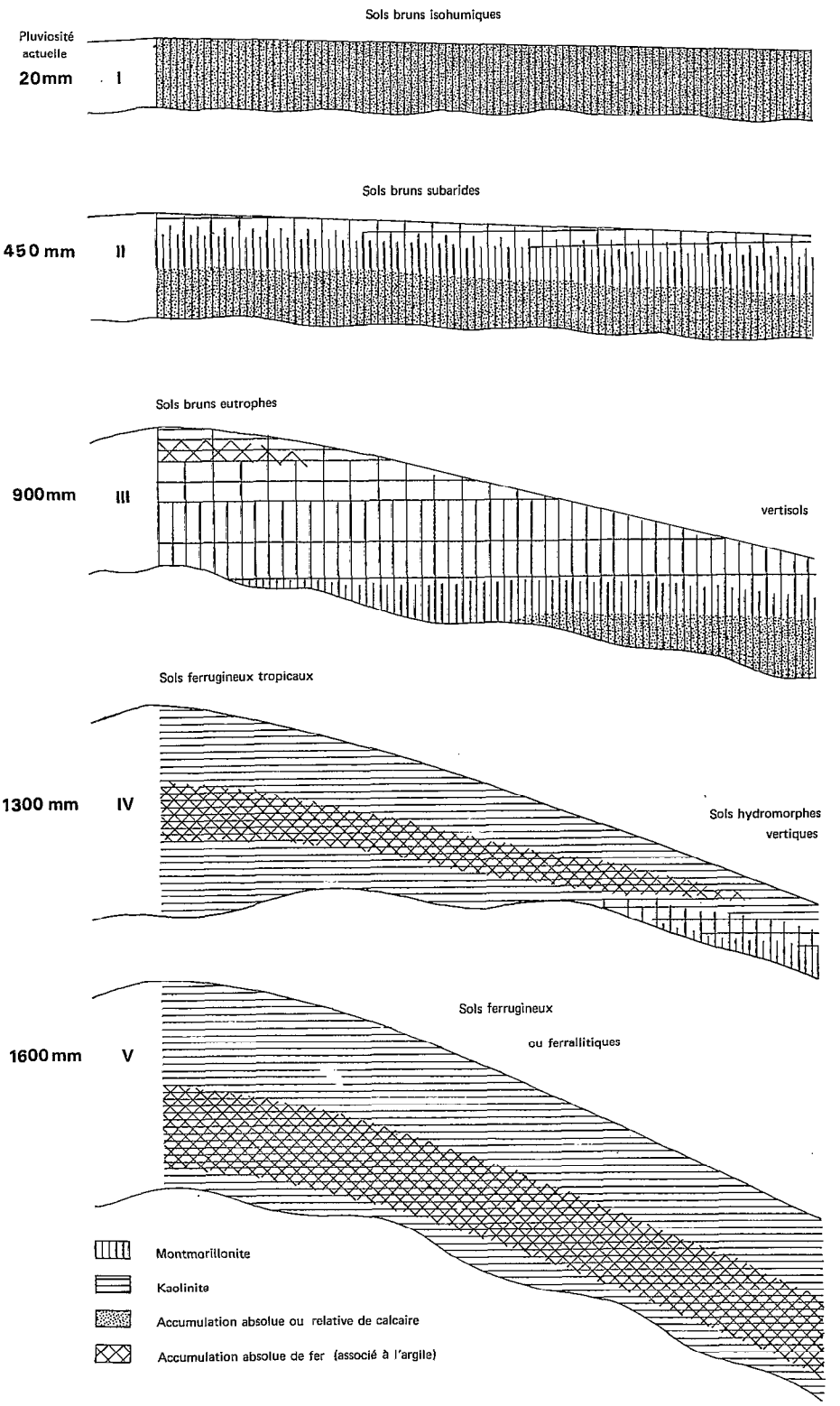


FIG. 70. — Variations latitudinales des couvertures pédologiques d'altération montmorillonitique au sud du Sahara, passage aux couvertures pédologiques kaoliniques.

récente et que l'on peut assimiler au bas glacis des régions sahéliennes, on a observé l'existence de sols dont la différenciation ne peut être attribuée au climat désertique actuel. De tels paléosols sont courants dans la bordure méridionale du Sahara (DUTIL, 1971). Grâce aux travaux des spécialistes du quaternaire (cf. 1re partie § II-A), qui montrent l'existence dans le passé récent de périodes plus humides que l'actuel en zone tropicale sèche, on attribue unanimement la différenciation de ces sols à ces périodes humides. Les discussions portent uniquement sur l'amplitude des variations correspondantes de la pluviosité.

Plus délicate s'avère la détermination de la limite méridionale à partir de laquelle la pédogenèse redevient fonctionnelle. Les résultats concernant le régime hydrique dont on dispose nous offrent cependant un autre jalon. En effet, on a constaté que, lors d'une année à pluviosité normale, toute l'épaisseur des profils de la toposéquence de Garango I s'humecte, et qu'un certain drainage s'effectue, au moins à l'amont. On peut en conclure que, sous une pluviosité de 900 mm, une toposéquence à sols bruns eutrophes et vertisols est fonctionnelle. Cela ne signifie pas cependant que les conditions climatiques actuelles sont nécessairement celles qui répondent au fonctionnement optimum de ces sols, car ceux-ci ont aussi subi les fluctuations vers l'humide.

Nous disposons donc de deux jalons extrêmes entre lesquels se situe la zone sahélienne. Les renseignements sur le régime hydrique des sols sur migmatite recueillis dans cette zone sont, nous l'avons souligné, très insuffisants. Associés aux données morphologiques, ils nous permettent cependant de faire deux constatations :

— D'une part, l'infiltration n'affecte qu'une mince couche de sol, nettement inférieure à l'épaisseur du profil. L'évolution pédologique actuelle est donc limitée à la partie supérieure du sol, ce qui nous amène à attribuer la formation des horizons profonds, et en particulier du Bca ou de sa majeure partie, aux périodes plus humides du passé. Dans les sols bruns subarides vertiques (Soffokel), il semble que l'effet pédogénétique de cette humectation actuelle soit très faible sinon nul. Par contre, dans les solonetz, la pédogenèse superficielle est active et tout indique (morphologie, régime hydrique) que le lessivage de l'horizon A et le développement de la morphologie columnaire se produisent actuellement.

— D'autre part, l'activité de l'érosion s'intensifie à la faveur d'un couvert végétal maigre et discontinu et contribue à amincir le profil ainsi qu'on peut le percevoir à l'échelle du glacis. Ce fait est classique (TRICART *et al.*, 1960 ; FOURNIER, 1960, 1962).

Ainsi, en zone sahélienne, la base des sols sur migmatite est inerte et héritée de paléoclimats plus humides que l'actuel. De nos jours, la pédogenèse est superficielle et elle s'allie à l'érosion pour détruire la couverture pédologique à partir de la surface. Cette destruction est toutefois incomplète puisque des paléosols subsistent bien souvent dans la zone désertique contiguë.

III. CONCLUSIONS

Les couvertures pédologiques d'altération montmorillonitique constituent dans leur ensemble des systèmes éluviaux d'où sont partiellement exportés les éléments solubilisés par l'altération. Parmi les éléments qui restent sur place, certains s'associent pour donner des minéraux argileux où la montmorillonite est le plus souvent dominante, tandis que d'autres peuvent migrer verticalement et s'accumuler dans les horizons B ; tel est le cas du calcium, qui tend à être relayé par le fer vers le Sud.

La lixiviation décroît du Sud vers le Nord avec la pluviosité, mais, simultanément, on constate une disproportion croissante entre la pédogenèse actuelle et le développement réel du profil. Ainsi, lorsqu'on va vers la zone aride, l'évolution pédologique actuelle des sols

(sur migmatite) est limitée à une couche superficielle de moins en moins épaisse du profil, dont la partie inférieure est héritée. En même temps le sol s'amincit, soit sous l'effet de l'érosion seule, soit sous l'effet conjugué de la pédogenèse (lessivage) et de l'érosion.

Il importe cependant de rappeler que l'on se place ici dans le cas relativement simple de sols monophasés. L'histoire des sols peu évolués à niveaux graveleux signalés dans la première partie (§ V-C) et étudiés par GAVAUD (1965, 1967a, 1974) est certainement beaucoup plus complexe.

Chapitre VIII

Les couvertures pédologiques à redistribution latérale

L'étude des données aussi bien morphologiques qu'analytiques amène nécessairement à distinguer deux séquences génétiques d'horizons dans ces couvertures pédologiques. La première, ou ***séquence initiale***, se développe en premier lieu et selon une dynamique verticale dominante. La deuxième séquence d'horizons, ou ***séquence secondaire à redistribution latérale***, se développe de l'aval vers l'amont aux dépens de la première, dont elle réorganise complètement les constituants, non seulement à l'échelle du profil, mais aussi à celle du versant.

I. LA DIFFÉRENCIATION DES SÉQUENCES INITIALES

A. CARACTÈRES GÉNÉRAUX

La différenciation des séquences initiales présente de nombreuses analogies avec celle des couvertures pédologiques d'altération montmorillonitique. On y retrouve en particulier les mêmes types de transformation. Cependant, d'importantes différences se manifestent dont les principales sont :

— une pédoturbation plus précoce ;
— des organisations illuviales plus développées ;
— l'importance prépondérante des associations « fer-argile », dans les organisations plasmiques ;
— la dominance ou la présence exclusive de la kaolinite comme minéral argileux ;
— une différenciation latérale plus accentuée ;
— une moindre dépendance vis-à-vis de la lithologie des roches mères.

Ces séquences initiales d'horizons ne sont toutefois continues qu'à l'amont. Vers l'aval, elles sont oblitérées par les redistributions latérales. La persistance de leurs reliques montre qu'elles constituaient des toposéquences dont nous ne pouvons avoir actuellement qu'une vision incomplète.

B. ASPECT MORPHOLOGIQUE

1. Échelle microscopique

(a) ***La genèse du plasma argileux*** est due à l'altération des minéraux primaires. La phase d'altéroplasmation, est toutefois étalée de façon variable. Dans le sol ferrugineux de Diébiga, elle se poursuit jusqu'au sommet de l'horizon B, où une partie appréciable (environ 20 %) du fond matriciel est encore constituée d'altéroplasma. Elle est beaucoup plus fugace dans le sol ferrallitique de Garango II, où on ne la perçoit nettement que sur quelques centimètres, dans le cortex d'altération de la roche dure. Mais c'est à ce niveau que s'effectuent 70 % des pertes en feldspath de l'ensemble du profil autochtone (cf. fig. 54), ce qui souligne l'importance de cette phase dans la formation du plasma.

(b) ***La réorganisation*** du plasma d'altération et des minéraux primaires résiduels par pédoturbation est toujours précoce. Elle est plus rapide dans le sol ferrallitique que dans le sol ferrugineux. Cette réorganisation semble s'effectuer principalement sous l'effet des variations d'humidité, dont l'action n'est cependant pas la même que dans les sols montmorillonitiques des toposéquences monotones. Les transformations de structure, que l'on observe en lame mince, suggèrent en effet que cette réorganisation résulte de gonflements et de retraits faibles mais différentiels, qui détruisent les structures d'altération (et éventuellement d'illuviation), et donnent ainsi, par mélange du plasma et du squelette, le fond matriciel pédoturbé. Les travaux de CHAUVEL (à paraître), qui montrent que le pouvoir de gonflement de la kaolinite varie avec la quantité de fer qui lui est associée, seront susceptibles d'éclairer ces mécanismes. L'activité biologique parachève ensuite cette action.

La destruction rapide des structures altéro-illuviales du sol ferrallitique, qui efface à la fois le souvenir micromorphologique de la roche mère et les traces d'une illuviation dont on a souligné l'importance, constitue un handicap sérieux à l'étude de la genèse et de l'évolution des horizons ainsi transformés.

(c) ***les migrations d'argile*** se manifestent par la présence d'argilanes et d'argilo-ferranes, qui sont des dépôts orientés d'argile, plus ou moins associée au fer, sur les parois des vides. Mais l'existence de ces structures illuviales ne signifie pas nécessairement que l'argile a subi un transport important. On peut même concevoir qu'elles résultent d'une mise en suspension du plasma du fond matriciel environnant, suivie d'un dépôt quasi sur place. Leur signification en termes de migration doit donc être discutée, et l'on doit rechercher les relations entre les cutanes et le fond matriciel qui permettent d'apprécier l'importance des déplacements. C'est ce qu'on a tenté de faire à l'occasion de l'étude micromorphologique ; aussi se limitera-t-on au rappel des principales conclusions qui en résultent :

— Les structures illuviales sont beaucoup plus développées dans les séquences initiales d'horizons des couvertures pédologiques à redistribution latérale que dans les couvertures pédologiques d'altération montmorillonitique.

— L'importance et la précocité des migrations d'argile, ainsi que les distances de transport (qui restent cependant à l'échelle du profil), sont plus grandes dans le sol ferrallitique que dans le sol ferrugineux. Ceci suggère une mobilité plus élevée de l'argile (et du fer qui lui est associé) dans le premier que dans le second. Cette conclusion doit toutefois être nuancée. En effet, si, lors de la formation des structures altéro-illuviales du sol ferrallitique, on note effectivement des migrations d'argile importantes et relativement lointaines, lorsque ces structures sont détruites par les mécanismes de pédoturbation précédemment évoqués, on constate au contraire que les argilanes sont absents du fond matriciel pédoturbé. Ils ne réapparaissent, en petit nombre, qu'au sommet du profil. On saisit ainsi que, lors de cette transformation des microstructures, se produisent des modifications importantes du plasma argilo-ferrugineux, modifications dont on ne peut toutefois préciser ni la nature, ni les causes.

— La coloration en rouge des argilanes (plus accentuée dans le sol ferrallitique) montre que l'argile migre de concert avec le fer et constitue, dans ces sols, un vecteur important de cet élément.

— Même lorsque les migrations d'argile sont importantes, comme à la base du sol ferrallitique, où une grande partie du plasma est sous forme cutanique, elles s'effectuent de façon ménagée (BOULET, 1972). Autrement dit, il n'y a à aucun moment séparation complète du squelette et du plasma qui restent toujours associés. L'argile déplacée emprunte, tant pour son transport que pour son dépôt, des voies ouvertes par d'autres mécanismes : fracturation héritée de la roche mère (porosité d'origine pétrographique), dissolutions (porosité d'altération), fissuration par retrait (porosité d'origine purement pédologique), activité biologique (porosité biologique). Il reste toutefois évident que ces migrations d'argile contribuent à modifier la porosité, les prélèvements de plasma tendant à l'accroître, les dépôts de cutanes à la diminuer. Le caractère ménagé de ces migrations de particules permet le maintien prolongé d'organisations héritées de la roche mère, soit par la permanence de fantômes de minéraux primaires (Diébiga), soit seulement par la disposition du squelette résiduel (Garango II).

Le régime hydrique auquel on peut attribuer ce mode de lessivage particulaire est un régime de percolation où la présence éventuelle d'eau saturante est fugace et n'aboutit pas à l'installation de nappes perchées. Des conditions locales d'engorgement (pseudogley) ne sont pas exclues, mais il n'est pas évident que les phases d'engorgement coïncident avec celles des dépôts d'argile.

Les principales caractéristiques morphologiques associées à ce mode de lessivage ont trait à l'aspect des cutanes qui sont très bien orientés. Nettement discordants sur le fond matriciel adjacent, ces cutanes sont généralement minces ($\leqslant$ 0,5 mm) et revêtent toutes les parois des pores sans tenir compte de l'orientation de ces derniers. Ces dépôts ne présentent donc pas de polarité verticale. Ces caractères sont communs aux migrations d'argile des profils initiaux ferrallitiques et ferrugineux et aux migrations d'argile dans les sols des couvertures d'altération montmorillonitique. Changent toutefois l'intensité et la distance du transport, qui s'accroissent des sols des couvertures d'altération montmorillonitique aux sols ferrallitiques (avec les réserves exprimées précédemment) en passant par les sols ferrugineux. De même, augmente dans le même sens l'importance de l'association du fer à l'argile, tandis que la kaolinite relaie la montmorillonite comme argile transportée.

(d) ***La différenciation ferrugineuse*** : c'est à Diébiga que les divers stades de cette différenciation apparaissent le plus clairement grâce au passage latéral progressif d'un horizon B rouge, parfaitement homogène et non induré, à une carapace. On peut faire trois constatations :

— La différenciation ferrugineuse se surimpose aux organisations résultant de l'altéroplasmation, de la pédoturbation, de l'illuviation.

— Dans un premier stade, apparaissent simultanément des zones décolorées autour des pores et des zones plus brunes qui tendent à s'opacifier en se chargeant d'oxydes de fer. Ces variations de couleur affectent aussi bien les argilanes que le fond matriciel. Étant donné que ces migrations de fer ne s'accompagnent d'aucun déplacement de particules solides (cf. conservation des organisations), elles ne peuvent s'effectuer que par dissolution suivie d'une diffusion sur très courte distance (à l'échelle du 1/10 de mm ou du mm).

— Le fond matriciel se charge progressivement en fer et devient opaque, tandis que les argilo-ferranes se transforment en ferranes. Les termes intermédiaires de cette transformation suggèrent un apport d'argile et de fer qui se dépose sous forme d'argilo-ferranes. Ceux-ci se différencient ensuite par enrichissement en fer de leur partie contiguë au fond matriciel, qui bénéficie lui-même de cet apport, et par appauvrissement de leur partie qui constitue la paroi du pore. L'argile ainsi appauvrie resterait mobilisable, tandis que celle qui est enrichie en fer, serait stabilisée, du moins tant que persistent les conditions de stabilité des organisations argilo-ferrugineuses. Il est dès lors possible d'envisager avec STOOPS (1968), puis BOCQUIER *et al.*,

(1972), un mode de transport du fer d'un horizon à l'autre, qui ne nécessiterait pas de mise en solution tandis que seule la « mise en banque » de ce fer nécessiterait une solubilisation qui pourrait se suffire de conditions réductrices très locales et temporaires (pseudogley).

2. Échelle macroscopique

— La précocité des réorganisations par illuviation et pédoturbation détermine généralement des ***limites tranchées*** entre le matériau originel (arène à structure conservée ou même roche dure) et le sol, limites qui jouent un rôle important dans l'évolution ultérieure (chap. VIII, § III).

— Dans la mesure où nous disposons de reliques de cette séquence initiale sur une partie suffisante du modelé, on constate une ***différenciation latérale importante***, mais qui reste progressive. Celle-ci est particulièrement bien exprimée à Diébiga (cf. § précédent). Cette différenciation latérale est principalement ***ferrugineuse.***

— Inversement on note une ***lithodépendance atténuée*** par rapport à celle des couvertures pédologiques d'altération. Ainsi, à Garango II où la roche mère est très hétérogène, la différenciation des profils est peu influencée par les variations pétrographiques. Un filon amphibolique pourra, certes, être suivi jusque dans l'horizon B, grâce à la persistance d'une plus grande quantité de minéraux noirs et à une ferruginisation du plasma plus intense. Mais les constituants plasmiques et les types d'organisation à toute échelle n'en sont pas pour autant affectés. Cependant, lorsque c'est précisément la roche mère qui, par ses caractères extrêmes, détermine la différenciation de la séquence initiale, il est bien évident que tout passage à une roche cristalline analogue à celles qui portent dans la même région les couvertures pédologiques d'altération montmorillonitique, entraîne l'apparition des sols propres à ces types de couverture. Tel est le cas de la toposéquence de Diébiga ainsi qu'on le verra au chapitre IX.

C. ASPECT MINÉRALOGIQUE

Au point de vue minéralogique, la constatation essentielle est que le sol ferrugineux de Diébiga présente une séquence de différenciation des minéraux argileux intermédiaire entre celle des sols des couvertures pédologiques d'altération montmorillonitique et celle du sol ferrallitique de Garango II. La figure 71 montre en effet qu'il y a une certaine continuité

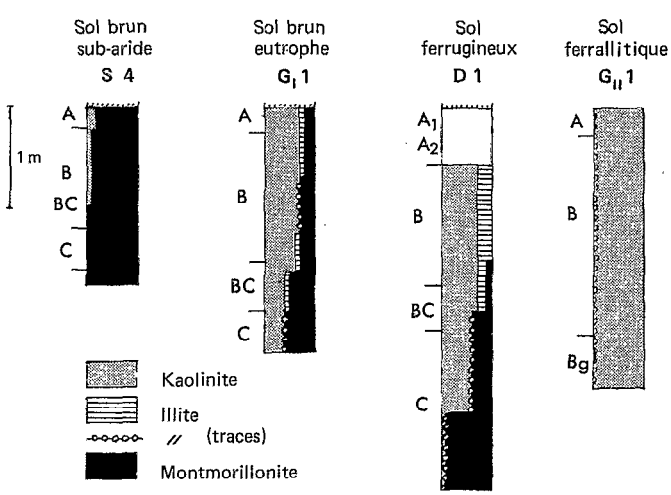


FIG. 71. — *Composition minéralogique des argiles, des sols bruns subarides vertiques au sol ferrallitique.*

entre les spectres minéralogiques allant des sols brun rouge subarides vertiques au sol ferrallitique. Dans cette série, le sol ferrugineux apparaît bien, du point de vue minéralogique, comme un maillon entre le sol brun eutrophe et le sol ferrallitique. Dans son matériau, sont encore réunies les conditions favorables à la genèse de la montmorillonite, dans des proportions analogues à celles des sols bruns eutrophes. Mais ces conditions changent progressivement vers le haut pour ne plus permettre exclusivement, dès le milieu de l'horizon B, que la kaolinisation (l'illite étant héritée de la roche mère). Cette kaolinisation exclusive règne dès la base du sol ferrallitique.

Cette suite de profils minéralogiques suggère un ***passage continu*** de l'altération montmorillonitique ou ***bisiallitisation*** à l'altération kaolinique ou ***monosiallitisation*** (PEDRO, 1966).

D. ASPECT GÉOCHIMIQUE

L'évolution géochimique des profils initiaux des couvertures pédologiques à redistribution latérale a été abordée par le biais du raisonnement isovolumétrique. On note principalement :

— un départ important de silice, croissant du sol ferrugineux au sol ferrallitique, qui correspond au passage de la bisiallitisation à la monosiallitisation (PEDRO, 1964 ; JACKSON, 1965 ; TARDY, 1969) ;

— une perte quasi totale des bases les plus mobiles (Na et Ca) ;

— un départ de manganèse ;

— une accumulation simultanée du fer et du titane, croissante du sol ferrugineux au sol ferrallitique.

Ces données ne sont valables que pour les sols amont, puisque nous ne disposons plus des termes aval. Elles ne préjugent donc pas d'éventuelles accumulations en bas de pente, en particulier dans les carapaces. Ces restrictions faites, elles traduisent une lixiviation beaucoup plus importante que dans les couvertures d'altération montmorillonitique, mais aussi l'apparition d'un nouvel élément typomorphe qui commençait à se manifester dans le sol brun eutrophe de Garango I. Il s'agit du fer, auquel on peut associer le titane (TARDY, 1969). Ainsi, à une lixiviation croissante, correspondent des éléments typomorphes de moins en moins solubles (calcium → fer). Mais ceux-ci ne sont cependant pas quelconques. Ils doivent être suffisamment abondants dans la roche mère pour que leur accumulation se manifeste morphologiquement et influe sur la différenciation du profil.

E. VARIATIONS LATITUDINALES

C'est en Haute-Volta orientale que les couvertures pédologiques à redistribution latérale ont été rencontrées et étudiées. Mais il est important de souligner qu'elles y sont exceptionnelles, du moins sur les matériaux d'altération récents. Elles répondent à des conditions particulières (aval d'un inselberg, matériau pédologique très perméable) qui seront examinées plus loin. Les séquences initiales de ces couvertures sont donc des objets précieux pour le raisonnement, mais rares.

Lorsque l'on va vers le Sud, des couvertures pédologiques, qui ressemblent aux séquences initiales précédentes, se généralisent à l'ensemble du modelé granitique. Ces couvertures ne sont pas soumises à des redistributions latérales : elles paraissent stables.

Ainsi, les séquences initiales des couvertures pédologiques à redistribution latérale, nées exceptionnellement en zone soudanaise (pluviosité $\leqslant$ 1 000 mm), donnent-elles, lorsqu'on vient du Nord, une première idée des couvertures pédologiques plus méridionales, qui se développent en climat tropical humide (pluviosité $\geqslant$ 1 500 mm). Les comparaisons miné-

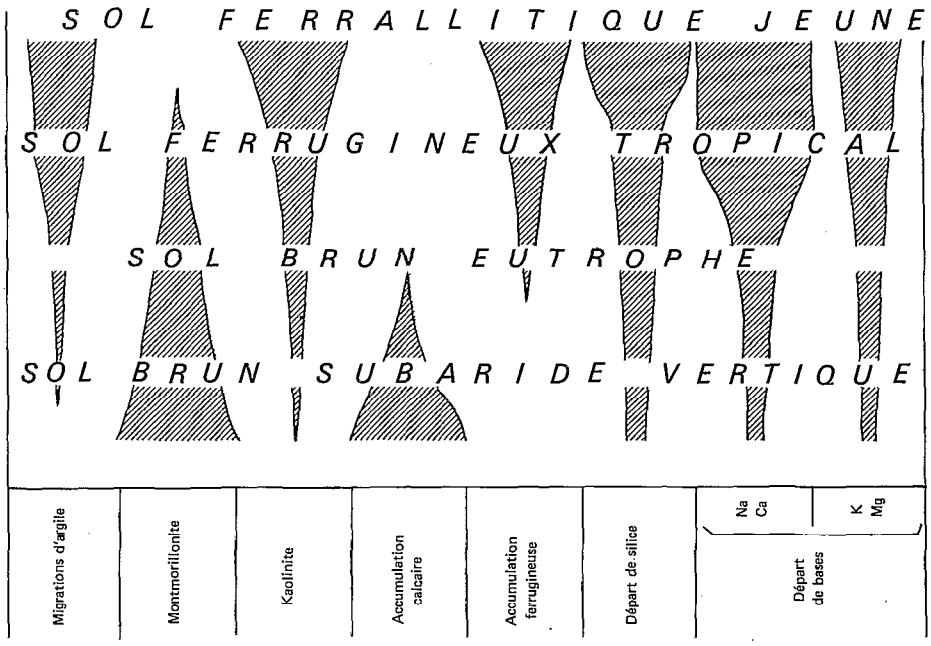


Fig. 72. — Migrations d'argile, minéralogie et géochimie. Variations des sols bruns subarides au sol ferrallitique jeune de Garango II.

ralogiques et géochimiques avec ces dernières sont aisées ; elles seraient plus difficiles pour les organisations, car les travaux sont moins avancés.

Ces séquences initiales présentent des différences importantes avec les sols des couvertures pédologiques d'altération montmorillonitique. Cependant on a souligné au cours des paragraphes précédents que certaines de ces différences semblent résulter de variations progressives entre les couvertures pédologiques d'altération montmorillonitique et les séquences initiales. Ces variations prolongent celles que l'on a mises en évidence dans les couvertures d'altération montmorillonitique entre la zone sahélienne et la zone soudanaise. Elles sont représentées schématiquement sur la figure 72 qui regroupe ainsi les principales modifications géochimiques entre le domaine de la bisiallitisation et celui de la monosiallitisation. Ces variations, entre autres, ont été mises en évidence expérimentalement par PEDRO (1964, 1966) ou dans la nature par JACKSON (1965), GLASKOVSKAYA (1968), TARDY (1969), DAN *et al.*, (1973).

Cette impression de continuité mérite cependant des nuances. En effet, on manque de termes de passage entre les sols bruns eutrophes et les sols ferrugineux, dont la filiation a été proposée par MAIGNIEN (1963) et adoptée par PAQUET (1969). Ce hiatus se fait particulièrement sentir en ce qui concerne les organisations morphologiques. L'une des causes principales de cette difficulté réside dans le fait que, lorsque l'on va vers le Sud et les pluviosités élevées, l'héritage des climats kaolinisants du passé lointain, que l'on identifie aisément en zone sèche, est de plus en plus difficile à distinguer de la pédogenèse actuelle, qui devient, elle aussi, kaolinisante.

On a malgré tout proposé, sur la figure 70 une suite latitudinale de séquences depuis les couvertures pédologiques d'altération montmorillonitique étudiées au chapitre VII jusqu'aux couvertures pédologiques des régions tropicales humides. Pour cela, on s'est inspiré des travaux de LEVÊQUE (1969, 1972) au Togo et d'observations personnelles en Côte d'Ivoire.

La coupe IV représente de façon très schématique une toposéquence analogue à celles décrites par LEVÊQUE sur migmatite, au Togo, sous 1 300 mm de pluviosité. On constate que le « retrait » vers l'aval de la montmorillonite, amorcé dans la coupe III à sols bruns eutrophes

et vertisols, se parachève au bénéfice de la kaolinite. Simultanément se généralise l'accumulation ferrugineuse, qui peut se manifester morphologiquement, soit sous une forme diffuse associée à l'argile, soit sous forme de nodules ou même de cuirasse.

La coupe V schématise une toposéquence observée au sud d'Odienné, dans le N. W. de la Côte d'Ivoire, sous une pluviosité de 1 600 mm, sur un granite à gros grain analogue à celui de Diébiga. La montmorillonite a complètement disparu. L'accumulation ferrugineuse affecte l'horizon B sur l'ensemble de la séquence et se manifeste par une rubéfaction uniforme à l'amont et un léger carapacement à l'aval. Une telle toposéquence est très proche de la séquence initiale de Diébiga.

Toutes ces toposéquences peuvent être considérées comme les termes d'une ***série latitudinale continue*** de différenciations pédologiques allant des couvertures pédologiques d'altération montmorillonitique septentrionales aux couvertures pédologiques kaoliniques des régions méridionales à climat tropical humide. Mais nous verrons par la suite que cette continuité est susceptible d'être interrompue par le développement des séquences secondaires à redistribution latérale.

F. CONCLUSIONS

Les séquences initiales des couvertures à redistribution latérale appartiennent elles aussi aux couvertures pédologiques d'altération en ce sens que leur plasma argileux résulte de l'altération des minéraux primaires dans le profil. Elles constituent, du moins pour ce qu'il en reste, des formations éluviales.

Mais ces séquences initiales se distinguent des couvertures d'altération montmorillonitique par :

— une éluviation plus intense ;
— des accumulations géochimiques affectant de nouveaux éléments ;
— des organisations élémentaires différentes.

Il leur correspond :

— ***les organisations dominantes*** suivantes : assemblages agglomérosqueliques, cutanes nombreux, au moins dans certains stades précoces, porosités de type tubulaire (altération et activité biologique), fond matriciel à plasma peu orienté. L'évolution des argilanes vers les ferranes aboutit au carapacement.

— ***des constituants plasmiques*** où sont toujours associés kaolinite et fer mais en proportions variables.

— ***des accumulations absolues*** de fer (et de titane).

Ainsi, dans ces séquences initiales, la part des réorganisations proprement pédologiques est-elle beaucoup plus grande que dans les couvertures pédologiques d'altération montmorillonitique. C'est pourquoi lorsque, dans le chapitre IX, on considérera les couvertures pédologiques des zones tropicales plus humides, qui ressemblent aux séquences initiales, mais ne sont pas soumises à des redistributions latérales, on emploiera le terme de « couverture pédologique kaolinique » et non « d'altération kaolinique ». Et cette terminologie sera suffisante car il n'y aura pas, comme pour les couvertures pédologiques montmorillonitiques, d'ambiguïté entre les couvertures d'altération et celles qui résultent d'une redistribution latérale.

II. LA DIFFÉRENCIATION DES SÉQUENCES SECONDAIRES A REDISTRIBUTION LATÉRALE

Les différenciations pédologiques que nous venons d'envisager étaient essentiellement verticales. Elles pouvaient être entièrement définies par un profil ou une succession de profils, constitués d'horizons superposés, à limites sensiblement parallèles à la surface topographique.

Les couvertures pédologiques à redistribution latérale, considérées dans leur ensemble, ne peuvent être caractérisées qu'à l'aide d'unités plus vastes que l'horizon ou le profil. Ces unités ou *domaines*, se succèdent latéralement sur les versants et sont séparées par des limites tranchées inclinées à contrepente par rapport à la surface topographique. On distinguera ainsi, de l'amont vers l'aval :

— le domaine initial, étudié dans la première partie du chapitre ;
— le domaine lessivé ;
— le domaine illuvial ;
— le domaine d'altération aval, qui appartient aux couvertures d'altération montmorillonitique, et dont on verra le déterminisme au chapitre IX.

Seuls les deux domaines médians seront envisagés dans ce qui suit.

A. ORGANISATION DES DOMAINES LESSIVÉ ET ILLUVIAL

A l'échelle des assemblages élémentaires, le domaine lessivé et le domaine illuvial présentent des organisations originales, qui les distinguent nettement des domaines qui les encadrent. Si ces organisations ont été perçues de façon plus ou moins complète depuis longtemps (FREI *et al.*, 1949 ; THORP *et al.*, 1959 ; GROSSMAN *et al.*, 1959, 1964 ; YASSOGLOU *et al.*, 1960 ; BREWER, 1964 ; FEDOROFF, 1968...), c'est à BOCQUIER (1971) qu'il revient de les avoir définies de façon précise et complète, et d'en avoir établi la signification et les inter-relations. A la suite de BOCQUIER, on distingue donc :

l'organisation éluviale caractérisée par un assemblage granulaire, des regroupements de squelette fin sur le plancher des vides, des dépôts de plasma limono-organique au sommet des grains grossiers (coiffes). Le plasma argileux est principalement sous forme d'argilanes, peu abondants (illuviation discontinue), souvent localisés sur le plancher de vides aplatis et situés sous les grains coiffés (vides sous laminaires). Ces argilanes peuvent être interstratifiés avec des dépôts de squelette fin (squelettanes), ce qui témoigne de la mobilité d'une large gamme granulométrique de particules dans ces milieux lessivés.

l'organisation illuviale est caractérisée par des dépôts d'argile sous forme de cutanes qui colmatent les vides, mais le squelette présente un arrangement semblable à celui qui caractérise l'horizon lessivé. Cette organisation illuviale succède donc à l'organisation éluviale.

l'organisation de transformation dérive de la précédente par réorganisation du fond matriciel. Sous l'effet des mouvements de gonflement et de retrait de l'argile illuviée, c'est-à-dire d'un dynamisme interne (FEDOROFF, 1968), le squelette fin se disperse au sein du plasma : l'assemblage devient porphyrosquelique. Les structures illuviales tendent à se modifier et même à s'effacer.

Cependant, nous avons par ailleurs constaté la généralité des migrations particulaires, qui peuvent se surimposer à des organisations diverses, et, en particulier à des organisations d'altération, sans pour autant les effacer. On est alors amené, pour caractériser ces structures complexes, à accoler au terme illuvial un autre terme qui précise la nature de la structure hôte,

lorsque celle-ci n'est pas la structure éluviale définie ci-dessus. Ainsi à Garango II, a-t-on parlé de « structure altéro-illuviale ». Les organisations ***purement*** éluviales ou illuviales, telles qu'elles ont été mises en évidence par BOCQUIER, ne se développent donc pas dans n'importe quelles conditions. Les conditions favorables sont les suivantes :

— L'organisation éluviale se développe dans des milieux suffisamment pauvres en plasma. Ceci peut être originel, comme dans un sédiment sableux, ou peut être acquis par lessivage très poussé. Ainsi le squelette peut être mobilisé et réarrangé sous l'effet de la circulation de l'eau et de la pesanteur.

— L'organisation illuviale résulte d'une accumulation d'argile dans une structure d'accueil à organisation éluviale. Ceci peut se produire dans un matériau initialement sableux, mais l'illuviation sera limitée par la pauvreté de ce matériau en plasma. Ceci se produira plus volontiers dans un milieu intensément lessivé comme précédemment. Dans ce cas, comme l'eau est l'agent de transport par gravité, il importe que les horizons qui fournissent le plasma soient situés au-dessus ou à l'amont des structures d'accueil lessivées. C'est effectivement ce que l'on observe dans les couvertures pédologiques à redistribution latérale.

L'organisation de transformation est beaucoup moins exigeante. Elle se développe aussi bien dans les organisations d'altération que dans les organisations altéro-illuviales ou illuviales.

B. LA TRANSFORMATION DES HORIZONS DE LA SÉQUENCE INITIALE DANS LE DOMAINE LESSIVÉ

Quand les horizons de la séquence initiale passent dans le domaine lessivé, les transformations sont considérables. Il serait difficile de trouver quelque ressemblance entre les organisations situées de part et d'autre de la limite des deux milieux. Mais, point essentiel, il est possible de démontrer que le domaine lessivé dérive de la séquence initiale, et ceci grâce à trois séries d'observations.

— ***Destructions des structures initiales*** que sont les organisations plasmiques : altéroplasma, cutanes, plasma pédoturbé.

— ***Perte importante de plasma.*** Le plasma résiduel est peu abondant, localisé dans les vides interstitiels séparant les grains du squelette du domaine lessivé, ou sous forme d'argilanes. L'analyse confirme cette perte de plasma.

— ***Réorganisation du squelette.*** Le squelette, libéré de sa gangue plasmique, devient jointif, l'assemblage est alors granulaire.

Les horizons initiaux susceptibles de se transformer ainsi sont très divers mais ont en commun leur organisation de base et un plasma associant kaolinite et oxydes de fer en proportions variables. Leur éventail va de l'horizon meuble rouge dans lequel l'argile et le fer sont associés en un plasma uniformément coloré, à la carapace armée de ferranes bruns, indurés, opaques en lame mince.

Ces transformations ont pour conséquence la progression du domaine lessivé aux dépens du domaine initial. La position inféro-aval du premier domaine par rapport au second montre que cette progression est remontante dans le profil et dans le versant. Elle s'effectue selon un front incliné à contrepente par rapport à la surface topographique. C'est « l'invasion remontante du lessivage » (BOULET et PAQUET, 1972).

C. DYNAMIQUE DU DOMAINE LESSIVÉ

Dans ce domaine, on a identifié trois types de mécanismes :

— des migrations particulaires ;
— des migrations en solution ;
— une altération du squelette.

1. Migrations particulaires. On distingue :

(a) Des ***migrations verticales***, qui alimentent l'horizon d'accumulation inférieur B'_2, mais aussi des accumulations discontinues (BOCQUIER, 1971) dans le domaine lessivé. Ces dépôts sont de trois sortes :

— ***des argilanes bien orientés***, qui se déposent probablement en ***régime de percolation***,

— ***des argilanes mal orientés***[1], striés, pouvant comporter du squelette fin, qui se forment par ***décantation*** en régime de ***submersion par la nappe***,

— ***des dépôts grossiers*** plus ou moins organiques surmontant les grains grossiers du squelette : ce sont les ***coiffes*** (BOCQUIER, 1971).

Ces migrations couvrent un ***large spectre granulométrique allant de l'argile aux sables fins.***

(b) ***Des migrations latérales*** s'effectuent en suspension dans la nappe, qui fluctue dans le domaine lessivé pendant la saison des pluies. Ces migrations alimentent le ou les horizons en langue en ne laissant aucun dépôt identifiable dans le domaine lessivé. Elles sont exclusivement limitées à la fraction colloïdale.

Ces migrations alimentent le domaine illuvial selon une dynamique qui est essentiellement une dynamique de nappe et que l'on a exposée en détail à la fin de la troisième partie.

2. Migrations en solution

Ces migrations, qui s'effectuent par l'intermédiaire des nappes du domaine lessivé, sont difficiles à mettre directement en évidence par l'analyse des eaux, qui montrent tout au plus une légère accumulation aval de silice. Elles se déduisent cependant des accumulations géochimiques (sous forme de montmorillonite principalement) constatées dans le domaine illuvial.

3. Altération du squelette

Dans le domaine lessivé, le squelette subit une ***nouvelle altération*** que l'on distingue aisément de l'altération initiale grâce à son ***gradient inverse croissant de haut en bas.*** Un tel gradient s'explique par le fait que le lessivage démarre à la base des profils initiaux, si bien que la partie inférieure du domaine lessivé est soumise au lessivage depuis plus longtemps que son sommet. A cette altération, ***qui reste assez faible***, correspond ***l'apparition des minéraux interstratifiés Illite-Montmorillonite.***

D. DYNAMIQUE DU DOMAINE ILLUVIAL

Dans ce domaine, on distingue :

— des accumulations particulaires ;
— des transformations minéralogiques ;
— des néoformations de minéraux.

L'accumulation particulaire, qu'elle soit verticale ou latérale, porte principalement sur la ***kaolinite*** et, dans une moindre mesure, sur les ***interstratifiés.*** Elle envahit l'aval et la base du domaine lessivé, selon un front linéaire remontant. C'est « ***l'invasion remontante des horizons B*** » (BOCQUIER, 1971).

A l'illuviation, succède dans un premier temps la ***transformation des interstratifiés en montmorillonite.*** Cette transformation semble pouvoir se réaliser de façon continue en régime de submersion, grâce à une augmentation des teneurs en silice de la nappe vers l'aval, tandis que la concentration en cations reste faible (TARDY, 1969 ; PAQUET, 1969).

1. La cause de la médiocre orientation de ces argilanes réside plus probablement dans l'hétérogénéité granulométrique du dépôt (BREWER *et al.*. 1957), que dans le fait que celui-ci résulte d'une décantation.

Puis se produit une ***néoformation massive de montmorillonite.*** Les conditions nécessaires à cette néoformation (milieu confinant en bases et en silice) ne sont pas décelables par l'analyse de la nappe, qui baigne la partie amont des horizons illuviaux lors des périodes d'alimentation en eau du système. On est donc amené à admettre que le confinement se réalise lors des périodes de dessiccation.

Cette montmorillonitisation ne s'effectue pas par altération des minéraux primaires du squelette, dont les teneurs ne sont pas modifiées par le passage du domaine lessivé au domaine illuvial. En revanche, la néoformation à partir des solutions dont les teneurs en cations augmentent de l'amont vers l'aval est vraisemblable. Quand le seuil de stabilité de la montmorillonite est franchi, elle cristallise. Silicium et magnésium sont apportés en solution, le fer migre en suspension. Le problème de l'aluminium, faiblement soluble, est plus délicat. Les auteurs ont évoqué les complexations ainsi que le transport à l'état colloïdal en suspension d'alumine libre ou de sphérules silico-alumineux (PEDRO, 1964 ; TARDY, 1969). Ce problème n'est pas clairement résolu.

E. CONCLUSIONS

Le domaine lessivé et le domaine illuvial constituent un système au sens de BOCQUIER (1971). Dans ce système, le domaine lessivé alimente le domaine illuvial, tandis que le domaine illuvial envahit le domaine lessivé. Ce système éluvial-illuvial progresse latéralement de l'aval vers l'amont aux dépens du domaine initial qu'il transforme. Le terme de départ de cette transformation est une couverture pédologique kaolinique et ferrugineuse, le terme ultime en est un ensemble d'horizons illuviaux, hydromorphes, à montmorillonite et kaolinite qui, tant par leurs organisations que par leurs constituants, sont très proches des couvertures pédologiques d'altération montmorillonitique. Il s'agit là d'un phénomène de convergence.

III. LA GENÈSE ET L'AUTODÉVELOPPEMEMT DES SYSTÈMES ÉLUVIAUX-ILLUVIAUX LATÉRAUX

A. SITUATION DE LA SÉQUENCE A REDISTRIBUTION LATÉRALE DANS L'ESPACE ET LE TEMPS

La séquence à redistribution latérale est ***intercalée latéralement entre deux domaines d'altération :***

— Le domaine d'altération aval, montmorillonitique, qui est stable et sur lequel viennent se bloquer plus ou moins complètement les migrations latérales.

— Le domaine initial, qui est transformé par le système éluvial-illuvial.

Cette séquence est ***chronologiquement postérieure aux deux domaines d'altération*** dont elle rompt la continuité. Elle révèle l'instabilité de certaines organisations pédologiques nées grâce à des conditions particulières, que l'on examinera par la suite (chap. IX), et placées dans le milieu pédo-bio-climatique actuel de la zone soudano-sahélienne.

B. LES CONDITIONS DE GENÈSE ET D'AUTODÉVELOPPEMENT

Les poches lessivées isolées à la base du profil amont de la toposéquence de Diébiga nous donnent une idée de la façon dont naît l'horizon lessivé profond. Il y aurait successivement :

— ***Saturation en eau*** de certains volumes à la base du profil sous le double effet :

– ***d'une infiltration accrue.*** Par exemple sous l'influence des canaux grossiers au débouché desquels se situent les poches lessivées à Diébiga amont.

– ***d'un blocage de la percolation verticale,*** autrement dit de l'existence d'un plancher qui provoque la naissance de micro-nappes perchées. Ce plancher est généralement constitué par le sommet de l'horizon C à structure conservée.

— ***Mise en suspension du plasma argileux.***

— ***Concentration de ce plasma par décantation*** sur le plancher de la micro-nappe avec formation ***d'un mince horizon B compact,*** tandis que la partie supérieure de la poche n'est plus formée que de squelette (assemblage granulaire) et acquiert ainsi une porosité grossière et forte, constituant une amorce d'horizon A'_2.

Une fois atteint ce stade, le phénomène ne peut que se poursuivre. En effet, l'eau, pour franchir l'interface qui sépare le matériel initial supérieur à porosité fine du matériel lessivé grossièrement poreux sous-jacent, va nécessiter une certaine pression hydrostatique (RODE, 1965 ; MILLER *et al.*, 1962). Il va donc s'installer, au-dessus de l'horizon lessivé, une frange d'engorgement qui, à son tour, favorisera la mobilisation du plasma argilo-ferrugineux. Et le ***phénomène s'autocatalyse.***

Ceci met en évidence le rôle joué dans ces mécanismes par la porosité grossière et forte de l'horizon lessivé, porosité liée à la ***préexistence d'une charpente*** qui préserve du tassement les vides créés par le lessivage lui-même. La nécessité et le rôle de cette charpente, qui peut être constituée soit par un squelette de minéraux primaires grossiers (Diébiga amont) soit par une armature ferrugineuse (Diébiga aval et Garango II), sont apparus dès les études sur le terrain (BOULET, 1971). PEDRO et CHAUVEL (1973) puis VERRET (1973) confirmèrent expérimentalement le rôle de cette charpente dans l'exportation du plasma argilo-ferrugineux libéré par des solutions complexantes (acide oxalique).

La formation de l'horizon B inférieur (B'_2) améliore l'étanchéité du plancher des nappes, tandis que l'extension de l'horizon lessivé A'_2 accélère l'infiltration aux dépens de la rétention. La conséquence de cette différenciation est donc le développement de nappes au sein des profils, nappes qui jouent un rôle essentiel dans la redistribution des éléments dans ces couvertures pédologiques (cf. chap. VI § II C).

C. L'ORIGINE ET LE RÔLE DU BARRAGE AVAL

Le maintien des nappes dans les toposéquences nécessite l'existence de barrages aval sans lesquels l'eau s'écoulerait librement dans les exutoires des bassins versants.

1. Origine des barrages aval

La nature et l'origine de ces barrages peuvent être diverses :

(a) Dans les toposéquences étudiées les barrages aval sont déterminés par une ***altération différentielle*** ayant pour origine l'une ou l'autre des particularités suivantes :

— ***Une variation pétrographique de la roche mère.*** Tel est le cas de la toposéquence de Diébiga où un filon de roche basique, situé à l'aval, s'altère en donnant un matériau argileux montmorillonitique imperméable, qui bloque l'écoulement latéral de la nappe.

— ***Une suralimentation en eau à l'amont.*** C'est ce qui se passe à Garango II où le ruissellement sur le flanc de l'inselberg accroît l'alimentation en eau des sols du knick. Il s'ensuit la formation des sols kaoliniques ***profonds*** qui constituent la séquence initiale. Mais l'influence hydrologique de l'inselberg est limitée à une partie du versant seulement. Au-delà de cette zone d'influence, on retrouve une couverture pédologique d'altération montmorillonitique à sols peu épais, peu perméables, et qui empêche l'écoulement latéral de la nappe.

(b) Au Tchad, BOCQUIER (1971) montre l'existence de barrages aval ***d'origine climatique,*** liés aux migrations latérales différentielles des produits éluviés.

(c) On peut imaginer d'autres types de barrages aval, d'origine sédimentaire (dépôt alluvial argileux...) ou autre.

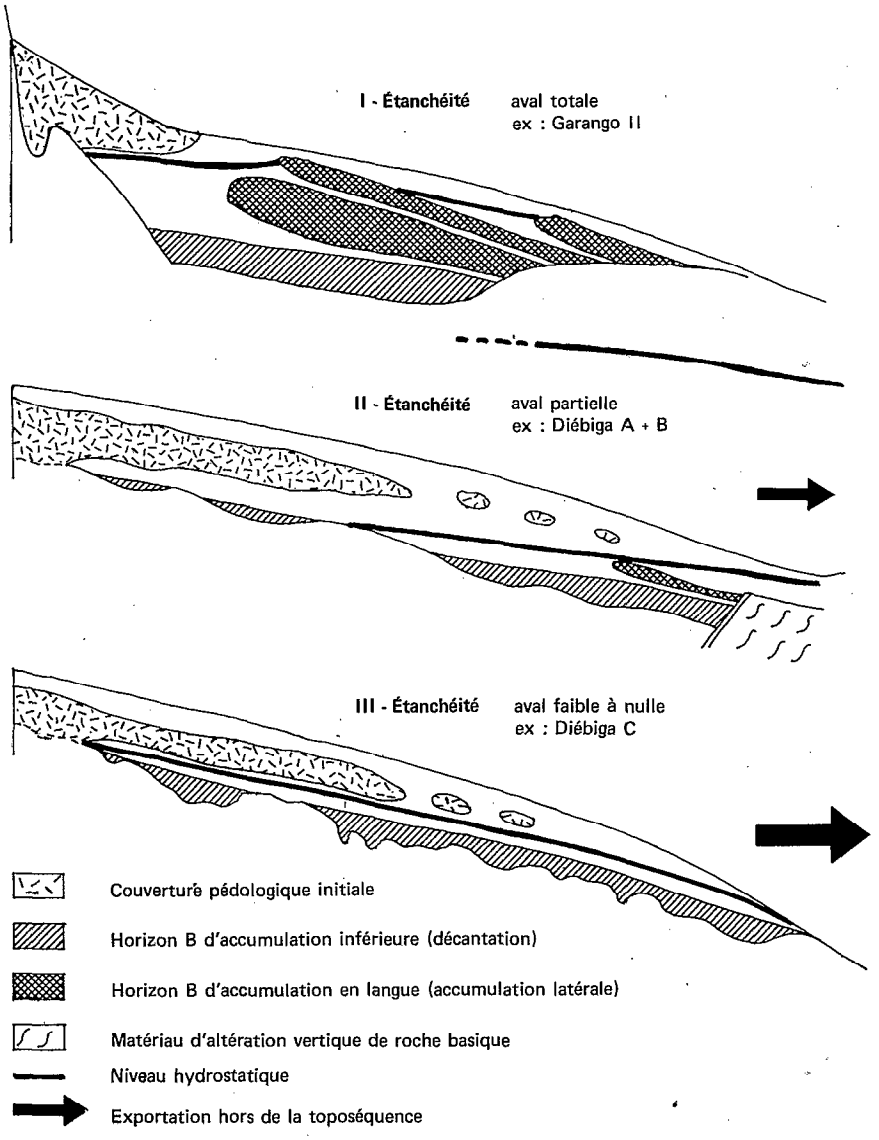


FIG. 73. — Influence du barrage aval sur le développement du domaine illuvial.

2. Rôle du barrage aval dans la différenciation de la séquence à redistribution latérale

Ce que l'on sait de la dynamique de la matière dans les systèmes éluviaux-illuviaux nous permet de prévoir que les variations de l'étanchéité du barrage aval vont essentiellement jouer sur le développement des horizons d'accumulation latérale en langue.

(a) ***Étanchéité totale :*** La toposéquence de Garango II nous offre un exemple de barrage aval étanche. On constate alors le développement relatif très important du domaine illuvial, essentiellement dû aux horizons en langue qui s'empilent jusqu'à envahir la quasi-totalité de la partie aval du système.

(b) ***Étanchéité partielle :*** A Diébiga, le développement du domaine illuvial par rapport au domaine lessivé est beaucoup plus faible qu'à Garango II, ce qui nous amène à admettre qu'une partie importante des produits lessivés est exportée par l'exutoire du bassin, hypothèse que la géométrie des coupes en long de la toposéquence confirme (fig. 18). L'efficacité du barrage aval n'est donc que partielle, mais elle est suffisante pour permettre le développement d'un horizon en langue, mince et de faible extension.

(c) ***Étanchéité faible à nulle :*** Un tel exemple nous est donné par la toposéquence C de Diébiga (fig. 21) où l'on constate que seul l'horizon d'accumulation inférieur B'_2 existe. D'autres exemples sont actuellement étudiés par BRABANT au Cameroun.

Ces différentes possibilités ont été schématisées sur la figure 73.

Chapitre IX

Les relations entre les deux types de couvertures pédologiques et la notion d'équilibre et de déséquilibre pédobioclimatique

Dans ce qui précède, on a étudié deux types de couvertures pédologiques : les couvertures pédologiques d'altération montmorillonitique et les couvertures pédologiques à redistribution latérale. On a décrit ces deux types de couvertures comme des systèmes indépendants, en soulignant leurs analogies et leurs différences. Mais ces deux types de couverture sont juxtaposés dans les mêmes régions et sur les mêmes surfaces : ceci pose le problème de leurs relations et de leur déterminisme.

On a précisé, en abordant leur étude (chap. II), que les couvertures pédologiques à redistribution latérale, que l'on appelait alors toposéquences contrastées, se développent exclusivement, pour les surfaces et les matériaux envisagés, dans deux conditions :

— soit la présence d'un amont constitué par un inselbèrg important, condition géomorphologique.

— soit une roche mère constituée par un granite à gros grain, condition pétrographique.

La première condition modifie d'une manière évidente le régime hydrique des sols situés au pied de l'inselberg. En effet, la vaste surface de ruissellement que constitue le flanc de l'inselberg ***augmente l'alimentation en eau*** des sols situés à son aval. Il s'ensuit une ***lixiviation accrue*** et la ***différenciation de sols kaoliniques***, alors que, dans la même région, sur les mêmes roches mères, mais sur des modelés dépourvus d'impluvium d'appoint, se sont simultanément développés des sols d'altération montmorillonitique. Mais cette influence de l'impluvium de l'inselberg est limitée. Si le versant est suffisamment long, elle ne se fait plus sentir au-delà d'une certaine distance du « knick ». Au système de sols à redistribution latérale, qui bénéficient de l'appoint d'eau, font alors suite vers l'aval des sols d'altération analogues à ceux des interfluves ordinaires. ***C'est le domaine d'altération aval.***

La seconde condition a des conséquences moins évidentes, mais qui jouent également sur la dynamique de l'eau dans le sol. En effet, dans ce cas, par la taille de son grain, par l'abondance du quartz, la roche mère détermine la formation d'un ***matériel pédologique perméable*** où la ***lixiviation est rapide.*** Ainsi, ce n'est pas la quantité d'eau qui est accrue, mais la vitesse de percolation. Ceci a pour effet une meilleure élimination des éléments solubilisés par l'altération, d'où la formation de minéraux secondaires kaoliniques et des organisations pédolo-

giques correspondantes. Au contraire, sur les modelés identiques de la même région, mais sur les roches granitiques à grain moyen, moins quartzeuses, se développent simultanément des couvertures d'altération montmorillonitique.

L'une et l'autre de ces conditions, géomorphologique ou pétrographique, ont donc un résultat commun : accroître la lixiviation. Ceci permet la différenciation de couvertures pédologiques kaoliniques, qui sont exceptionnelles dans la région, mais qui se généralisent à l'ensemble des paysages plus au Sud, sous les climats tropicaux humides.

I. SIGNIFICATION DES TRANSFORMATIONS PAR REDISTRIBUTION LATÉRALE

Nous venons de voir que, dans la zone climatique où règnent les couvertures pédologiques d'altération montmorillonitique, pouvaient, par la seule augmentation globale de l'éluviation, se développer des couvertures pédologiques kaoliniques analogues à celles que l'on observe sous les climats tropicaux plus humides méridionaux. Prise isolément, une telle observation nous amènerait à considérer la lixiviation comme le facteur déterminant de la pédogenèse, et à négliger les autres facteurs tels que le régime des pluies, la biosphère, etc...

Mais on constate également que ces couvertures kaoliniques se transforment de façon complète par destruction de leurs organisations et redistribution de leurs constituants. Elles constituent ainsi les séquences initiales des couvertures pédologiques à redistribution latérale. Ceci montre que, dans l'environnement bioclimatique de la zone soudanienne, ***ces couvertures pédologiques kaoliniques ont des organisations instables.*** Les régions climatiques plus méridionales, où elles se généralisent et se maintiennent, nous donnent, par comparaison, les conditions de leur stabilité : à une pluviosité plus élevée s'associent alors une saison des pluies plus prolongée et une végétation plus dense.

Si ces couvertures pédologiques kaoliniques sont instables, il est important de souligner ce vers quoi elles tendent. Par lessivage soutirant, par redistribution latérale, elles se transforment. Et le terme ultime de cette transformation, par sa composition, son organisation et son comportement hydrique, est du même type que la couverture d'altération montmorillonitique qui prédomine et se maintient dans cette zone climatique. On voit donc que la séquence initiale kaolinique, instable dans ce milieu, peut amorcer, puis assurer par autodéveloppement, une transformation qui la conduira, par convergence, au système pédologique à montmorillonite, stable dans ces régions (BOULET, PAQUET, 1972).

II. LA NOTION D'ÉQUILIBRE ET DE DÉSÉQUILIBRE PÉDOBIOCLIMATIQUE

Cette transformation de systèmes kaoliniques en systèmes montmorillonitiques nous montre que la stabilité, ou au contraire l'instabilité des organisations pédologiques joue un rôle prépondérant dans la permanence, ou au contraire la disparition de certaines couvertures pédologiques.

Étant donné que le sol n'est pas inerte mais en constante évolution, la notion d'équilibre dynamique semble plus exacte que celle, statique, de stabilité. On peut donc envisager les

conditions d'équilibre dynamique des couvertures pédologiques en relation avec le milieu bioclimatique.

Ainsi, pour préciser cette notion d'équilibre et de déséquilibre pédobioclimatique, on examinera les principaux états d'équilibre tels qu'ils se présentent et évoluent dans deux zones bioclimatiques :

— la zone soudanaise, avec ses savanes et une pluviosité de l'ordre de 8 à 900 mm.

— la zone tropicale humide, à végétation forestière et à pluviosité de l'ordre de 1 500 mm.

Dans la zone soudanaise, les couvertures d'altération montmorillonitique sont en équilibre. Ainsi, bien que, superficiellement, elles subissent des agressions telles que la dégradation de la montmorillonite, le lessivage ménagé, l'érosion, elles se régénèrent à leur base en donnant toujours des minéraux secondaires de la famille des montmorillonites, et les organisations pédologiques correspondantes.

En revanche, on constate, avec l'aridité croissante vers le Nord, que la base du profil n'est plus humectée et ne se régénère plus, tandis que les horizons supérieurs voient augmenter les actions érosives, favorisées ou non par la pédogenèse superficielle. On ne décèle pas alors de dégradation des constituants du sol et, en particulier, des argiles, qui restent à dominance de montmorillonite, mais plutôt une ***destruction des organisations pédologiques et une redistribution latérale des constituants.*** Cette redistribution s'effectue à la surface de la couverture pédologique. Ceci se produit sous l'effet conjugué d'une pluviosité insuffisante pour humecter la base des profils et renouveler le stock de plasma par altération, et d'un éclaircissement du couvert végétal, qui ne protège plus la surface du sol contre l'érosion. Cette transformation commence à se manifester lorsque la pluviosité annuelle moyenne devient inférieure à 550 ou 600 mm.

Lorsque l'on va vers le Sud, on constate, avec la pluviosité croissante et sur roches mères analogues, que les couvertures pédologiques d'altération montmorillonitique sont remplacées progressivement par des couvertures à sols kaoliniques. Bien que l'on manque de termes de passage, on peut admettre que la ***montmorillonite, devenant instable*** par suite d'une lixiviation croissante, laisse progressivement la place à la kaolinite, d'abord dans les amonts bien drainés, puis sur l'ensemble du versant. On peut situer approximativement ce passage entre les isoyètes 1 000 et 1 300 mm pour les roches mères granitiques banales.

Dans la zone tropicale humide, les couvertures pédologiques kaoliniques sont en équilibre, c'est-à-dire que, même si elles évoluent et se transforment, elles conservent toujours la même gamme d'organisations et les mêmes constituants plasmiques (kaolinite et fer). Le milieu bioclimatique peut être caractérisé, par rapport à celui de la zone soudanaise, par une pluviosité plus élevée et surtout mieux répartie, et par une végétation plus dense, de type savane boisée ou forêt.

Lorsque, à partir de cette zone tropicale humide, on remonte vers le Nord et, semble-t-il, à partir d'une pluviosité annuelle moyenne de l'ordre de 1 100 à 1 200 mm, ces couvertures kaoliniques subissent les transformations brutales décrites dans ce travail. Dans les cas étudiés, il est vrai que la lixiviation est du même ordre de grandeur qu'en zone tropicale humide, puisque les minéraux secondaires néoformés sont les mêmes. Mais le milieu bioclimatique est très différent : la saison sèche est plus sévère et plus prolongée, les pluies plus violentes, la végétation plus clairsemée. Il s'ensuit un régime hydrique plus contrasté. Ceci va en particulier favoriser les engorgements localisés, qui, nous l'avons vu (chap. VIII, § III, B), sont probablement à l'origine du lessivage soutirant et transformant. Le processus de redistribution latérale est dès lors enclanché. Dans cette transformation, ***ce sont les organisations qui se révèlent instables,*** tandis que le principal constituant plasmique, la kaolinite, est seulement redistribué latéralement. Cette redistribution est ***interne*** à la couverture pédologique. Ensuite et seulement ensuite, les nouvelles conditions physicochimiques, créées par cette redistribution, déterminent l'apparition de nouveaux minéraux secondaires. Cette transformation est brutale,

et elle correspond à un changement radical de système pédologique, puisque l'on passe d'un milieu lessivant à kaolinite à un milieu confinant à montmorillonite. Elle fait basculer le système initial vers un nouvel équilibre, stable dans le milieu bioclimatique ambiant.

Ainsi les transformations que subissent ces deux principaux états d'équilibre pédologique, en fonction des conditions bioclimatiques régionales, paraissent se relier à l'instabilité soit de leurs organisations, soit de leurs constituants eux-mêmes. L'hypothèse suivante pourrait donc être proposée :

Lorsque les couvertures pédologiques d'altération montmorillonitique de la zone soudanaise ou bien les couvertures pédologiques kaoliniques des régions tropicales humides, ne sont pas dans leurs conditions d'équilibre bioclimatique, elles se transforment suivant deux voies :

— ***Décalées vers l'aride***, ce sont les ***organisations qui deviennent instables.*** Il s'ensuit une ***transformation brutale*** qui prend l'allure d'une rupture d'équilibre. Cette transformation est superficielle pour les couvertures pédologiques d'altération montmorillonitique, qui se détruisent par leur sommet et tendent à disparaître. Elle est interne pour les couvertures pédologiques kaoliniques, qui tendent à mimer, par convergence, les couvertures d'altération montmorillonitique.

— ***Décalées vers l'humide***, ce sont les ***constituants qui deviennent instables*** et les ***transitions sont progressives.*** Tel semble du moins être le cas des couvertures pédologiques d'altération montmorillonitique qui passent aux couvertures kaoliniques par remplacement progressif de la montmorillonite par la kaolinite. Par contre, la transformation des couvertures kaoliniques par augmentation de l'humidité sort trop largement du domaine de cette étude pour être envisagée ici.

III. LES CAUSES DE DÉSÉQUILIBRE PÉDOBIOCLIMATIQUE

Parmi les causes de déséquilibre, il en est que nous connaissons déjà puisqu'elles sont apparues être à l'origine des toposéquences contrastées : elles sont au nombre de deux et seront rappelées en premier lieu parmi les causes actuelles. Il en est d'autres qui ne peuvent être déduites que par extrapolation des résultats de cette étude, et qui ne seront donc citées et discutées qu'à titre d'hypothèses explicatives.

1. Les causes actuelles

(a) Causes liées a la géomorphologie ou a l'hydrologie de surface

Présence d'un impluvium d'appoint en haut d'interfluve, qui augmente anormalement l'alimentation en eau, sans modifier pour autant les autres facteurs bioclimatiques. La toposéquence de Garango II avec son inselberg nous en donne un exemple.

(b) Causes liées a la pétrographie

Roche mère donnant un matériau pédologique très perméable dans lequel les lixiviations sont accélérées, condition suffisante à la formation d'une couverture pédologique kaolinique. Mais celle-ci ne trouvera pas dans les autres facteurs bioclimatiques les conditions de sa stabilité. Tel est le cas de la toposéquence de Diébiga.

(c) Causes liées a la tectonique

On peut supposer qu'un abaissement régional du niveau de base, par l'effondrement d'un fossé par exemple, puisse provoquer, dans une couverture pédologique kaolinique jusque-là stable, un soutirage qui déclanche le lessivage remontant. Cette cause, très hypothétique, peut être à l'origine de la fréquence des couvertures pédologiques à redistribution latérale mise en évidence par Brabant dans le bassin de la Bénoué au Cameroun.

(d) Causes liées au climat

Il est possible que, dans certaines conditions climatiques à pluviosité élevée (comprise entre 1 100 et 1 500 mm par exemple) mais à saisons très contrastées, la lixiviation soit suffisante pour permettre la différenciation d'une couverture pédologique kaolinique sur matériau granitique banal, mais que, du fait d'une saison sèche rigoureuse, la végétation soit insuffisante pour régulariser le régime hydrique des sols et pour empêcher de ce fait le déclenchement du lessivage remontant. Ce dernier correspondrait alors à une évolution normale par autodéveloppement. Dans ce milieu bioclimatique, la pédogenèse initiale, kaolinique et ferrugineuse, créerait d'elle-même les conditions nécessaires à sa transformation. La vérification de cette hypothèse nécessiterait l'exploration systématique de la zone de transition entre les couvertures d'altération montmorillonitique et les couvertures kaoliniques. Les travaux de Levêque au Togo nous éclaireront à ce sujet. Une telle éventualité contribuerait à expliquer la difficulté que l'on a à trouver des termes de passage entre sols montmorillonitiques et sols kaoliniques.

2. Les causes anciennes : causes paléoclimatiques

(a) Cas des couvertures pédologiques anciennes

Une partie importante de la Haute-Volta orientale est couverte d'un manteau d'altération kaolinique qui porte des cuirasses ferrugineuses épaisses, particulièrement abondantes entre 12 et 14° de latitude Nord. Ces cuirasses sont inactuelles (Maignien, 1958, 1960 ; Michel, 1959, 1969 ; Kaloga, 1964, 1966 ; Gavaud, 1967a ; Grandin, 1973). Leur extension parfois considérable, le fait qu'elles sont susceptibles de couvrir encore la totalité de certains interfluves, supposent que ces cuirasses ont pu se développer sans entraves pendant une longue période au cours de laquelle elles représentaient un état d'équilibre pédobioclimatique[1].

Les travaux de Leprun (1971, à paraître) montrent qu'actuellement ces formations cuirassées s'autodétruisent par des mécanismes de lessivage soutirant de même type que ceux décrits dans ce travail.

Bien que l'on ne connaisse pas avec certitude les conditions climatiques dans lesquelles se forment les cuirasses, il est très probable que leur genèse et leurs conditions d'équilibre correspondent à un climat plus humide mais aussi moins contrasté que celui qui règne actuellement en Haute-Volta orientale.

Ainsi ces cuirasses et leurs organisations, héritées du passé, sont aujourd'hui en déséquilibre. Elle se détruisent par des mécanismes de lessivage qui agissent à leur base ou dans leur épaisseur, pour faire place aux organisations, nées de l'illuviation suivie de transformations, qui sont en équilibre avec les conditions bioclimatiques actuelles de cette zone.

(b) Cas des couvertures pédologiques récentes

Les couvertures pédologiques étudiées dans ce travail sont récentes et ont été choisies pour cela. Leur histoire climatique est néanmoins complexe, les études du Quaternaire récent de l'Afrique sèche indiquant plusieurs oscillations du climat (cf 1re Partie § 5). Mais, dans

1. La carapace de Diébiga nous montre au contraire une tentative de cuirassement avortée parce qu'elle ne se situe pas dans les condition bioclimatiques convenables.

l'ensemble, ces dernières correspondent à une péjoration progressive et surtout à un caractère plus contrasté du régime des pluies, favorables à l'installation et au développement de systèmes éluviaux-illuviaux. Il n'est donc pas possible de faire la part exacte des causes actuelles et des causes anciennes dans la mise en déséquilibre des couvertures pédologiques récentes de l'Afrique sèche.

Conclusions générales

Ce travail sur les sols de la partie orientale de la Haute-Volta avait à l'origine des motifs concrets. Il convenait d'abord d'analyser avec soin les couvertures pédologiques récentes de cette région, où des travaux de cartographie m'avaient attiré. Ensuite, s'est imposée la nécessité d'expliquer la grande différence qui est apparue entre les couvertures pédologiques communes de la région et d'autres plus rares, mais présentant des séquences de sols très contrastées. Enfin, s'ouvrait un débat à propos de deux grandes familles de mécanismes de pédogenèse. Les pédogenèses à évolution verticale dominante et la pédogenèse à évolution latérale ou oblique, sur laquelle G. Bocquier venait d'attirer l'attention en 1971.

Au terme de ce travail, il convient de récapituler les principaux résultats acquis au sujet des couvertures pédologiques récentes développées sur les roches granitogneissiques de cette région. Mais ces résultats m'ont aussi amené à proposer certaines conclusions plus générales qui seront succinctement rappelées. L'ensemble se résume en 12 points qui seront regroupés dans quatre rubriques.

LA COUVERTURE PÉDOLOGIQUE D'ALTÉRATION MONTMORILLONITIQUE

1. ***La couverture pédologique d'altération montmorillonique*** est le système pédologique qui se développe sur les roches granitogneissiques dans les conditions de climat et de végétation de la zone soudanaise caractérisées par :

— une température élevée (T. moy. = 28°),
— une pluviosité de l'ordre de 800 à 1 000 mm, groupée en une saison de 5 mois,
— des formations végétales de type savane arborée claire.

2. Ce système obéit à une dynamique essentiellement ***verticale.*** Les argiles se forment directement par altération des minéraux primaires. Ces argiles comportent une fraction importante de montmorillonite. Si elles subissent, ainsi que le squelette, des réorganisations sous l'effet de la pédogenèse, elles restent sensiblement sur les lieux de leur formation.

3. Ce système est ***fonctionnel*** dans les conditions précitées. Il y est aussi en ***équilibre avec son milieu bioclimatique ;*** en effet, s'il se dégrade éventuellement en surface, il se régénère en profondeur.

En revanche, vers la zone aride septentrionale, la pédogenèse devient de plus en plus

superficielle. La base des profils, héritée du passé, n'est plus fonctionnelle, tandis que la pédogenèse (lessivage) et l'érosion superficielle, ou cette dernière seulement, détruisent par son sommet la couverture pédologique, qui, dès lors, n'est plus en équilibre.

LA COUVERTURE PÉDOLOGIQUE KAOLINIQUE

4. Dans la même région, le système précédent est remplacé par un autre lorsque l'alimentation en eau ou la vitesse de percolation est augmentée. On passe alors à une ***couverture pédologique kaolinique*** semblable à celle qui se généralise plus au Sud, en zone tropicale humide. C'est ce qui se produit à Garango au pied d'un inselberg important et à Diébiga sur un granite à gros grain.

5. Ce second système est soumis comme le premier à une dynamique essentiellement ***verticale.*** La fraction argileuse, à très large dominance ou exclusivement constituée de kaolinite, est également issue de l'altération des minéraux primaires du profil, mais les réorganisations d'origine pédologique sont beaucoup plus importantes que dans le premier système. Ces réorganisations, qui affectent principalement le plasma constitué de kaolinite et d'hydroxydes, vont jusqu'au carapacement ferrugineux.

6. Ce second système est également ***fonctionnel,*** mais il est en ***déséquilibre*** dans les conditions bioclimatiques de la zone soudanaise. Il se transforme en effet par destruction de ses organisations kaoliniques et ferrugineuses, par séparation du squelette et du plasma, et par redistribution de ce dernier dans le versant. Cette transformation est le fait d'un troisième système.

LE SYSTÈME ÉLUVIAL-ILLUVIAL

7. Ce troisième système, ***éluvial-illuvial,*** se développe donc aux dépens de la couverture kaolinique précédente, qu'il transforme en partant de sa base et de son aval. Cette transformation se résume, pour l'essentiel, à une exportation du plasma de la couverture kaolinique, tandis que le squelette reste sur place ou bouge peu et constitue le ***domaine lessivé.*** Cette transformation est brutale et progresse selon un front, ***le front de lessivage,*** qui est une surface inclinée à contrepente par rapport à la surface topographique (fig. 17 ou 26). Le plasma prélevé à la couverture kaolinique est accumulé à l'aval et à la base du domaine lessivé, où il constitue le ***domaine illuvial.*** Cette accumulation s'effectue elle aussi selon un front, le ***front d'illuviation,*** qui progresse de façon approximativement parallèle au front de lessivage.

Examinons maintenant ces deux domaines. Le domaine illuvial aval, d'une part, est celui où s'accumule l'essentiel du plasma kaolinique et ferrugineux de la couverture pédologique initiale. Ce domaine aval est compact. Il constitue un milieu confinant où, par transformation et néoformation, apparaît la montmorillonite. De plus, il forme un plancher imperméable à la base de la couverture pédologique et détermine la formation de nappes perchées dans les profils situés à son amont (fig. 66 et 69). Le domaine lessivé, d'autre part, est situé à l'amont du précédent, mais à l'aval du domaine initial kaolinique. Il est sableux, poreux, lessivé, il constitue le magasin des nappes perchées. Ainsi, le domaine illuvial se développe ***d'aval en amont,*** aux dépens du domaine lessivé, qui ronge ***d'aval en amont,*** la couverture kaolinique initiale. Le terme ultime de cette évolution est le remplacement intégral de la couverture pédologique kaolinique initiale par le système éluvial-illuvial étudié ici. Les toposéquences de Kossellili et de Mindéra, étudiées au Tchad par BOCQUIER (1971) sont les modèles de ce stade final.

8. Ce troisième système obéit donc à une ***dynamique latérale.*** Et cette dynamique latérale se réalise au sein de nappes perchées, qui sont elles-mêmes le résultat de la différenciation pédologique par éluviation-illuviation.

9. Le système éluvial-illuvial est ***fonctionnel et transformant.*** Il crée, à l'aval de la couverture pédologique qu'il affecte, des conditions nouvelles qui modifient les constituants et les organisations. Les constituants se chargent, par transformation ou néoformation, en montmorillonite. Les organisations deviennent analogues à celles de la couverture pédologique d'altération montmorillonitique. Ainsi le système 2, kaolinique, tend à ***converger*** vers le système 1, qui est en équilibre dans les conditions bioclimatiques actuelles, par l'action du système 3, éluvial-illuvial. Et comme ce système progresse d'aval en amont, il tend à transformer, par convergence, les couvertures kaoliniques en couvertures montmorillonitiques. On notera cependant que cette transformation « rééquilibrante » ne sera jamais complète. En effet, il restera à l'amont, une fois la couverture initiale épuisée de son plasma, un domaine lessivé, poreux, sableux, dont les vides représentent sensiblement les pertes subies par le matériau originel lors de la phase initiale kaolinique fortement lixiviante. Ce déficit n'existe pas dans les couvertures pédologiques d'altération montmorillonitique qui aboutissent, directement et à moindre perte, au système stable dans cette zone climatique.

ÉQUILIBRE ET DÉSÉQUILIBRE PÉDOBIOCLIMATIQUE

10. La zone soudanienne répond, ainsi qu'on l'a constaté dans ce travail, aux conditions d'équilibre de la couverture pédologique d'altération montmorillonitique développée sur des roches granitiques. On sait par ailleurs que la zone tropicale humide correspond, pour les mêmes roches mères, au domaine de la couverture pédologique kaolinique. Celle-ci y trouve donc ses conditions d'équilibre. La partie méridionale de la région qui a servi de cadre à cette étude se situe dans une ***zone climatique sensible,*** à la frontière entre la zone soudanaise à climat contrasté et la zone tropicale humide. Et ceci permet de raisonner sur le passage d'une zone à l'autre.

11. ***Le passage vers l'humide.*** Bien qu'il soit encore mal connu, ce passage semble se faire d'une façon continue. Les lixiviations augmentent sous les influences bioclimatiques et on assiste au remplacement progressif de la montmorillonite par la kaolinite dans les produits d'altération. Ce remplacement résulte d'un accroissement des lixiviations verticales. ***Continuité, relais*** de la montmorillonite par la kaolinite, caractère ***vertical*** des mécanismes, tels sont les traits de cette évolution. Ceci est aisément transposable à une variation dans le temps, quand l'humide succède à l'aride.

12. ***Le passage vers l'aride*** se trouve éclairé par ce travail. On a pu montrer que, quand une couverture pédologique kaolinique se trouve dans un milieu plus aride, ou seulement à saisons plus contrastées que celui qui correspond à ses conditions d'équilibre, des transformations discontinues apparaissent. Les organisations plasmiques sont détruites. Éluviation et illuviation répartissent la matière de nouvelle façon de part et d'autre du front d'illuviation. Et par convergence, au-delà de ce front, tend à se reconstruire une couverture montmorillonitique d'un modèle analogue mais nouveau. Et cette transformation résulte pour l'essentiel de migrations latérales. ***Discontinuité,*** destruction des organisations, ***addition*** de la montmorillonite aux kaolinites héritées et caractère ***latéral*** des mécanismes, tels sont les traits de cette évolution.

Bibliographie

AMERYCKX J. (1960) : La pédogenèse en Flandre sablonneuse. Une chronobioséquence sur matériau, sableux. – *Pédologie*, Gand X, 1, p. 124-190.

ARISTARAIN L. F. (1971) : Clay minerals in caliche deposits of eastern New Mexico. – *J. Geol.*, 79, 1, p. 75-90.

A.S.E.C.N.A. Haute-Volta (1966) : Aperçu sur le climat de la Haute-Volta. 2e édit., 132 p. *multigr.*

ATAMAN G. (1963) : Utilisation du spectromètre à lecture directe pour le dosage des éléments majeurs des roches sédimentaires et des silicates dans une grande gamme de concentrations. – *Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, Strasbourg, 16, 4, p. 233-240.

ATAMAN G. et BESNUS Y. (1965) : Une méthode de dosage des éléments traces dans les roches par spectrométrie à lecture directe. – *Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, Strasbourg, 18, 4, p. 179-189.

AUBERT et HENIN S. (1945) : Relation entre le drainage, la température et l'évolution des sols. – *C.R. Acad. Sci.*, Paris, 220, p. 330-332.

AUBERT G. (1946) : Observations sur les sols de l'Anjou. – *C.R. Acad. Sci.*, Paris, 221, p. 755-757.

AUBERT G. (1952) : Sols de France et d'Outre-Mer. *In* : La dynamique du sol, A. DEMOLON, p. 72-111.

AUBERT G. (1965) : La classification pédologique utilisée en France. – *Pédologie*, Sympos. intern., 3, Class. Sols, p. 25-56.

AUBERT G. et SEGALEN P. (1966) : Projet de classification des sols ferrallitiques. – *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, IV, 4, p. 97-112.

AUBREVILLE A. (1949) : Climat, forêts et désertification de l'Afrique tropicale. – *Soc. Édit. Marit. Colon.*, Paris, 351 p.

AUDRY P. (1965) : Premiers résultats partiels d'une étude d'évolution comparée des sols au Tchad. Résultats agronomiques relatifs à la campagne de coton 1964 sur les sols rouges faiblement ferrallitiques de Deli. – ORSTOM, Fort-Lamy, 14 p. *multigr.*

AUDRY P. (1967) : Observations sur le régime hydrique comparé d'un sol ferrugineux tropical faiblement lessivé sous savane et sous culture (arachide et pénicillaire). Colloque sur la fertilité des sols tropicaux, Tananarive, 2, p. 1591-1614.

BALLANTYNE A. K. et CLAYTON J. S. (1964) : The relationship of exchangeable cations in the B horizons to the field separations of solonetzic and chernozemic soils. – *Canad. J. Soil Sci.*, 44, 1, p. 43-49.

BARSHAD I. (1957) : Factors affecting clay formation. – Clays and clay minerals, 6th Conf., Pergamon Press N.Y., p. 110-132.

BARSHAD I. (1964) : Chemistry of soil development. *In* : Chemistry of the soil, BEAR F. E. edit., 2nd ed., Reinhold Publishing Co N.Y.

BARSHAD I. (1966) : The effect of a variation in precipitation on the nature of clay mineral formation in soils from acid and basic igneous rocks. – Intern. Clay confer. Jerusalem, 1, p. 167-173.

BIROT Y. et GALABERT J. (1970) : Bioclimatologie et dynamique de l'eau dans une plantation d'eucalyptus. – Rap. C.T.F.T. Haute-Volta, 48 p. *multigr.*

BIROT Y. et GALABERT J. (1970-71) : Économie de l'eau et travail du sol dans les plantations forestières de zone sèche. Application à la zone sahélo-soudanaise. – *Bois et forêts des Tropiques*, I, 127, p. 29-44 ; II, 128, p. 23-37 ; III, 129, p. 3-21.

BISWAS T. D., NARAYANA M. R., VASUDEVA RAO A. E. (1966) : Characteristics of catenary soils on granite – gneiss parent rock in the Kurnool District of Andhra Pradesh. – *J. Indian Soc. Soil Sci.*, 14, 3, p. 183-195.

BLANCANEAUX P. (1972) : Podzols et sols ferrallitiques dans le nord-ouest de la Guyane française. – ORSTOM, Cayenne, 41 p. *multigr.*

BLOKHUIS W. A., PAPE Th. et SLAGER S. (1968) : Morphology and distribution of pedogenic carbonate in some vertisols of the Sudan. – *Geoderma*, 2, p. 173-200.

BLOT A. et LEPRUN J. C. (1973) : Influence de deux roches mères de composition voisine sur les altérations et les sols. Un exemple sur le socle cristallin au Sénégal oriental. – *Cah. ORSTOM, Sér. Géol.*, V, 1, p. 45-57.

BOCQUIER G. et MAIGNIEN R. (1963) : Les sols bruns subarides tropicaux d'Afrique de l'Ouest. – Colloque CCTA Class. sols rég. intertrop. Lovanium.

BOCQUIER G. et GAVAUD M. (1964) : Étude pédologique du Niger oriental. – ORSTOM, Dakar, 347 p. *multigr.*

BOCQUIER G. (1964) : Présence et caractères des solonetz solodisés tropicaux dans le bassin tchadien. – 8th Intern. Congr. Soil Sci., Bucarest, V, p. 687-695.

BOCQUIER G. (1968) : Biogéocenose et morphogenèse actuelles de certains pédiments du bassin tchadien. – 9th Intern. Congr. Soil Sci., Adelaïde, IV, p. 605-614.

BOCQUIER G., PAQUET H., MILLOT G. (1970) : Un nouveau type d'accumulation oblique dans les paysages géochimiques : l'invasion remontante de la montmorillonite. – *C.R. Acad. Sci.*, Paris, 270 D, p. 460-463.

BOCQUIER G. (1971) : Genèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad. Interprétation biogéodynamique. – Thèse Sci. Strasbourg et *Mém. ORSTOM*, 62, 1973, 350 p.

BOCQUIER G. et NALOVIC Lj. (1972) : Utilisation de la microscopie électronique en pédologie. – *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, X, 4, p. 411-434.

BONFILS P., CHARREAU C. et MARA (1962) : Études lysimétriques au Sénégal. – *Agron. tropic.*, 10, p. 881-914.

BOS P. (1967) : Notice explicative de la carte géologique au 1/200 000, feuille Fada N'Gourma. – Édit. B.R.G.M., 40 p.

BOUCHET R. J. (1961) : Signification et portée agronomique de l'évapotranspiration potentielle. – *Ann. Agron.*, 12, p. 51-63.

BOULAINE J. (1971) : Cours de pédologie générale. – Inst. nat. Agron. Paris-Grignon, 275 p. *multigr.*

BOULET R. (1964) : Étude pédologique du Niger central. – ORSTOM, Dakar, 211 p. *multigr.*

BOULET R. (1966) : Observations pédologiques dans le Tamesna oriental (Rép. du Niger). Relations sol–végétation. – ORSTOM, Dakar, 67 p. *multigr.*

BOULET R. (1967) : Nouveaux arguments en faveur de l'existence de deux ergs rubéfiés d'âges différents dans la zone sahélienne de l'Afrique Occidentale (Haute-Volta). – Actes VI[e] Congr. Panafr. Préhist. Et. Quatern., p. 334-335.

BOULET R. (1968) : Étude pédologique de la Haute-Volta. Région Centre-Nord. – ORSTOM, Dakar, 351 p. *multigr.*

BOULET R. et LEPRUN J. C. (1969) : Étude pédologique de la Haute-Volta. Région Est. – ORSTOM, Dakar, 331 p. *multigr.*

BOULET R., FAUCK R., KALOGA B. et LEPRUN J. C. (1969) : Étude pédologique de la Haute-Volta. Rapport général de synthèse. – ORSTOM, Dakar, 30 p. *multigr.*

BOULET R. (1970) : La géomorphologie et les principaux types de sols en Haute-Volta septentrionale. – *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, VIII, 3, p. 245-271.

BOULET R. (1971) : Mise en évidence de deux types fondamentaux de toposéquences développées sur matériaux riches en minéraux altérables issus de granites ou de migmatites en Haute-Volta orientale. – ORSTOM, Bull. Liais., Thème B, 2, p. 13-38.

BOULET R., GUICHARD E. et VIEILLEFON J. (1971) : Observations pédologiques et leurs relations avec les faits géomorphologiques dans le delta du Sénégal. Comparaison avec les observations effectuées au Niger. – *Bull. Liais. Assoc. Sénég. Et. Quatern. Ouest Afric.*, 29, p. 99-110.

BOULET R. et PAQUET H. (1972) : Deux voies différentes de la pédogenèse en Haute-Volta. Convergence finale vers la montmorillonite. – *C.R. Acad. Sci.*, Paris, 275 D, 12, p. 1203-1206.

BOULET R. (1972) : Modalités d'action du lessivage dans les sols tropicaux développés sur granites (Haute-Volta). Étude micromorphologique. – *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, X, 4, p. 321-341.

BOWSER W. E., MILNE R. A. et CAIRNS R. R. (1962) : Characteristics of the major soil groups in an area dominated by solonetzic soils. – *Canad. J. Soil Sci.*, 42, 1, p. 165-179.

BRABANT P. (1967) : Contribution à l'étude des sols à horizons blanchis dans la région de Garoua (Nord Cameroun). – ORSTOM, Yaoundé, 85 p. *multigr.*

BRAMMER H. (1971) : Coatings in seasonally flooded soils. – *Geoderma*, 6, p. 5-16.

BREWER R. et HALDANE A. D. (1957) : Preliminary experiments in the development of clay orientation in soils. – *Soil Sci.*, 84, 4, p. 301-309.

BREWER R. (1960) : Cutans : their definition, recognition and classification. – *J. Soil Sci.*, 11, 280-292.

BREWER R. (1964) : Fabric and mineral analysis of soils. – J. Wiley and sons edit., N.Y., 470 p.

BREWER R. et SLEEMAN J. R. (1969) : The arrangement of constituents in Quaternary soils. – *Soil Sci.*, 107, 6, p. 435-441.

BREWER R. et SLEEMAN J. R. (1970) : Some trends in pedology. – *Earth Sci. Rev.* 6, p. 297-335.

BREWER R. (1972) : The basis of interpretation of soil micromorphological data. – *Geoderma*, 8, 2-3, p. 81-94.

BROWN I. C. et DROSDOFF M. (1940) : Chemical and physical properties of soils and their colloids developed from granitic materials in the mojave desert. – *J. agric. Research*, 61, p. 335-352.

BRUNET-MORET Y. (1964) : Études hydrologiques dans les régions du Nord-Dori et de Djibo. – ORSTOM, rapp. intérimaire de la campagne 1963, 33 p. *multigr.*

BUOL S. W. (1965) : Present soil-forming processes and factor in arid and semi-arid regions. – *Soil Sci.*, 99, 1, p. 45-49.

CAILLERE S. et HENIN S. (1962) : Minéralogie des argiles. – Masson Édit., Paris, 355 p.

CAIRNS R. R. et VANSCHAIK J. C. (1968) : Solonetzic soils and their physical properties as influenced by different cations. – *Canad. J. Soil Sci.*, 48, 2, p. 165-171.

CANN D. B. et WHITESIDE E. P. (1955) : A study of the genesis of a podzol-gray brown podzolic intergrade soil profile in Michigan. – *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 19, 4, p. 497-501.

CHAUVEL A. (1966) : Étude physique des sols de Séfa. – ORSTOM, Dakar, 56 p. *multigr.*

CHAUVEL A. et MONNIER G. (1967) : Sur la signification de l'analyse granulométrique en pédologie ; examen des problèmes posés par la caractérisation de la texture de certains sols tropicaux. – *C.R. Acad. Sci.*, Paris, 264 D, p. 1969-1972.

CHAUVEL A. et PEDRO G. (1967) : Considérations sur l'analyse granulométrique et le problème de la détermination de la constitution minéralogique élémentaire de certains sols tropicaux ; nécessité et limite de la déferrification. – *C.R. Acad. Sci.*, Paris, 264 D, p. 2089-2092.

CHAUVEL A. et FAUCK R. (1969) : Sur la mise en évidence et la caractérisation d'un horizon B dit « de comportement » dans les sols rouges de Casamance (Sénégal). – *C.R. Acad. Sci.*, Paris, 269, p. 2080-2083.

CHEVERRY C. (1974) : Contribution à l'étude pédologique des polders du lac Tchad. Dynamique des sels en milieu continental subaride dans les sédiments argileux et organiques. – Thèse Sci., Strasbourg, 275 p.

CHUDEAU R. (1921) : Les changements de climat du Sahara pendant le Quaternaire. – *C.R. Acad. Sci.*, Paris, 172, p. 604-607.

CLAISSE G. (1968) : Étude expérimentale de l'analyse aux trois acides ; comportement du quartz pur à l'attaque triacide. – *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, VI, 2, p. 129-149.

CLAISSE G. (1972) : Étude sur la solubilisation du quartz en voie d'altération. – *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, X, 2, p. 97-122.

CLAVAUD G. (1967) : Carte pédologique à 1/50 000 du bassin-versant du Bam-Bam, établie en vue d'un essai de définition d'unités à comportements hydrologiques différents. – ORSTOM, Fort-Lamy, 39 p. *multigr.*

CLINE M. G. (1949) : Profile studies of normal soils of New York : I – Soil profile sequences involving brown forest, gray-brown podzolic and brown podzolic soils. – *Soil Sci.*, 68, 3, p. 259-272.

DAN J. et SINGERA (1973) : Soil evolution on basalt and basic pyroclastic materials in the Golan heights. – *Geoderma*, 9, 3, p. 165-192.

DANIELS R. B. et GAMBLE E. E. (1967) : The edge effect in some ultisols in the North Carolina coastal plain. – *Geoderma*, 1, p. 177-124.

DANIELS R. B., GAMBLE E. E. et BARTELLI L. J. (1968) : Éluvial bodies in B horizons of some ultisols. – *Soil Sci.*, 106, 3, p. 200-206.

DANIELS R. B., GAMBLE E. E. et CADY J. G. (1970) : Some relations among coastal plain, soils and geomorphic surfaces in North Carolina. – *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 34, p. 648-653.

DAPPLES E. C. (1967) : Diagenesis of sandstones. *In* : Development in sedimentology, t. 8 : Diagenesis in sediments, G. LARSEN et G. V. CHILINGAR édit., Elsevier, p. 91-125.

DECKERS J. et BAEYENS L. (1963) : Polysequum profilen van de hoge Kempen. – *Pédologie*, Gand, XIII, p. 120-154.

DELFOUR J. et JEAMBRUN M. (1970) : Notice explicative de la carte géologique au 1/200 000 Oudalan. – Édit. BRGM, 57 p.

DELVIGNE J. (1965) : Pédogenèse en zone tropicale. La formation des minéraux secondaires en milieu ferrallitique. – ORSTOM - DUNOD, Paris, 177 p.

DROSDOFF M. et NIKIFOROFF C. C. (1940) : Iron manganese concretions in Dayton soils. – *Soil Sci.*, 49, p. 333-345.

DUBIEF J. (1963) : Le climat du Sahara, t. II, fasc. 1 – Inst. Rech. Sahar., Alger.

DUCELLIER J. (1963) : Contribution à l'étude des formations cristallines et métamorphiques du Centre et du Nord de la Haute-Volta. – *Mém. BRGM*, Paris, 10, 320 p.

DUCHAUFOUR Ph. (1948) : Recherches écologiques sur la chênaie atlantique française. – Thèse Sci., Montpellier, 322 p.

DUMANSKI J. et ST ARNAUD R. J. (1966) : A micropedological study of eluvial soil horizons. – *Canad. J. Soil Sci.*, 46, 3, p. 287-292.

DURAND J. H. (1959) : Les sols rouges et les croûtes en Algérie. Direction de l'Hydraulique et de l'Équipement rural, Service des Études scientifiques, Clairbois, Birmandreis, 188 p.

DUTIL P. (1971) : Contribution à l'étude des sols et des paléosols du Sahara. – Thèse Sci., Strasbourg, 346 p.

ELOUARD P. (1959) : Étude géologique et hydrogéologique des formations sédimentaires du Gebla mauritanien et de la vallée du Sénégal. – Thèse Sci. Paris et *Mém. BRGM*, Paris, 7 (1962), 274 p.

ELOUARD P. et FAURE H. (1967) : Le Quaternaire de l'Inchiri, du Taffoli et des environs de Nouakchott. – 6e Congr. panafr. de Préhist. et Et. Quatern., p. 466-492.

ESWARAN H. (1968) : Point-count analysis as applied to soil micromorphology – *Pédologie*, Gand, XVIII, 2, p. 238-252.

FADDA G. S. (1968) : Étude d'une séquence climatique dans la province de Tucuman (Argentine) – *Pédologie*, Gand, XVIII, 3, p. 301-321.

FAUCK R. (1971) : Contribution à l'étude des sols des régions tropicales. Les sols rouges sur sables et sur grès d'Afrique occidentale. – Thèse Sci., Strasbourg, 377 p.

FAURE H. (1962) : Reconnaissance géologique des formations sédimentaires post-paléozoïques du Niger oriental. – Thèse Sci., Paris, et *Mém. BRGM*, Paris, 47, 1966, 630 p.

FAURE H. (1966) : Évolution des grands lacs sahariens à l'Holocène. – *Quaternaria*, 8, p. 167-176.

FEDOROFF N. (1968) : Genèse et morphologie de sols à horizons B textural en France atlantique. – *Sci. du Sol*, 1, p. 29-65.

FEODOROFF A. et BAILLIF J. L. (1969) : Étude de l'infiltration de la pluie in situ à l'aide de tensiomètres. – *Ann. Agron.*, p. 475-504.

FEODOROFF A. et BETREMIEUX R. (1964) : Une méthode de laboratoire pour la détermination de la capacité au champ. – *Sci. du Sol*, p. 109-118.

FLACH K. W., CADY J. G. et NETTLETON W. D. (1968) : Pedogenic alteration of highly weathered parent materials. – 9th Intern. Congr. *Soil Sci.*, Adelaïde, IV, p. 343-351.

FONTES J. C., ELOUARD P. et FAURE H. (1967) : Essai d'interprétation isotopique et paléoécologique du Quaternaire marin de Mauritanie. – Actes 6e Congr. Panafr. Préhist. Et. Quatern., p. 493-497.

FOURNIER F. (1960) : Climat et érosion. – P.U.F., Paris, 201 p.

FOURNIER F. (1962) : Carte du danger d'érosion en Afrique au Sud du Sahara. Notice explicative. – CEE, CCTA, Paris, 13 p.

FREI E. et CLINE M. G. (1949) : Profile studies of normal soils of New York. II. Micromorphological studies of the gray brown podzolic - brown podzolic soil sequence. – *Soil Sci.*, 68, p. 333-344.

GAC J. Y. (1968) : Les altérations de quelques roches cristallines des Vosges. Étude minéralogique et géochimique. – Thèse 3e cycle, Strasbourg, 77 p.

GAWANDE S. P. et BISWAS T. D. (1967) : Studies in genesis of catenary soils on sedimentary formation in Chatisgarh Basin of Madhya Pradesh. III. Chemical composition of the soils and their clay fraction. – *J. Indian Soc. Soil Sci.*, 15, 2, p. 111-118.

GAVAUD M. (1965) : Étude pédologique du Niger occidental. – ORSTOM, Dakar, 2 t., 513 p.

GAVAUD M. (1967a) : Esquisse de l'histoire des sols du Niger Centre et Ouest méridional. – *Bull. Liais. Assoc. Sénég. Et. Quatern. Ouest Afric.*, 14-15, p. 24-27.

GAVAUD M. (1967b) : Interprétation chronologique des systèmes de sols des dunes fixées du Niger méridional. – Actes 6e Congr. Panafr. Préhist. Et. Quatern., p. 376-380.

GAVAUD M. (1968) : Les sols bien drainés sur matériaux sableux du Niger. Essai de systématique régionale. – *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, VI, 3-4, p. 277-307.

GAVAUD M., BOULET R. et LEVÊQUE A. (à paraître) : Les couvertures de sols soudano-sahéliennes du Tchad au Sénégal. Principes successifs de caractérisation et d'interprétation. – Comm. Xe Congr. Intern. Sci. Sol, Moscou, 1974.

GAVAUD M. (à paraître) : Les sols du Niger méridional. – ORSTOM.

GLAZOVSKAYA M. A. (1968) : Geochemical landscapes and types of geochemical soil séquences. – 10th Intern. Congr. Soil Sci., Adelaïde, IV, p. 303-312.

GOLDICH S. S. (1938) : A study in rock weathering. – *J. Geol.*, 46, p. 17-23.

GORBUNOV V. V. (1969) : Genesis and transformations of minerals in soils. – *Soviet Soil Sci.*, 2, p. 201-213.

GOSS D. W. et ALLEN B. L. (1968) : A genetic study of two soils developed on granite in Llano country, Texas. – *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 32, p. 409-413.

GRANDIN G. (1973) : Aplanissements cuirassés et enrichissement des gisements de manganèse dans quelques régions d'Afrique de l'Ouest. – Thèse Sci., Strasbourg, 410 p.

GREENE H. (1945) : Classification and use of tropical soil. – *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 10, p. 392-396.

GREENE H. (1947) : Soil formation and water movement in the tropics. – *Soils and Fertilizers*, 10, p. 253-256.

GROSSMAN R. B., FEHRENBACHER J. B., BEAVERS A. H., STEPHEN I. et PARKER J. M. (1959) : Fragipan soils of Illinois. I et III. – *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 23, p. 65-75.

GROSSMAN R. B., ODELL R. T. et BEAVERS A. H. (1964) : Surface of peds from B horizons of Illinois soils. – *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 28, p. 792-798.

HALLAIRE M. et HENIN S. (1958) : Sur la non-validité de l'équation de conductivité pour exprimer le mouvement de l'eau non saturante dans le sol. – *C.R. Acad. Sci.*, Paris, 246, p. 1720-1722.

HALLSWORTH E. G., ROBERTSON G. R. et GIBBONS F. R. (1955) : Studies in pedogenesis in New South Wales. VII. The gilgai soils. – *J. Soil Sci.*, 6, p. 1-31.

HALLSWORTH E. G. et WARING H. D. (1964) : Studies in pedogenesis in New South Wales. VIII. An alternative hypothesis for the formation of the solodized solonetz of the Pilliga district. – *J. Soil Sci.*, 15, 2, p. 158-177.

HENIN S. et TERNISIEN J. (1944) : Sur une relation entre la pluviosité, le drainage et l'évaporation. – *C.R. Acad. Sci.*, Paris, 219, p. 80-82.

HENIN S. et GODARD M. (1944) : Relation entre l'évaporation, la température et l'indice d'aridité. – *C.R. Acad. Sci.*, Paris, 219, p. 559-560.

HENIN S., FEODOROFF A., GRAS R. et MONNIER G. (1960) : Le profil cultural. Principes de physique du sol. – Soc. Édit. Ing. Agric., 320 p.

HOLMES J. W. et STACE H. C. T. (1968) : On the domed structure and anisotropy of the B horizon of a solodized solonetz. – *Aust. J. Soil Res.*, 6, 1, p. 149-157.

HUBERT (1920) : Le dessèchement progressif en Afrique occidentale. – *Bull. Com. Et. Hist. Sci. A.O.F.*, p. 401-467.

ISMAIL F. T. (1970) : Biotite weathering and clay formation in arid and humid regions, California. – *Soil Sci.*, 109, 4, p. 257-261.

JACKSON M. L. (1959) : Frequency distribution of clay minerals in major great soil groups as related to the factors of soil formation. – Clays and clay minerals (6th Nat. Conf. 1957), p. 133-143.

JACKSON M. L. (1965) : Clay transformations in soil genesis during the Quaternary. – *Soil Sci.*, 99, p. 15-22.

JÄKEL D. et SCHULZ E. (1972) : Spezielle Untersuchungen an der Mittelterrasse im Ennedi Tabi, Tibesti-Gebirge. – *Z. Geomorph.* Suppl. Bd. 15, p. 129-143.

JAMAGNE M. et FEDOROFF N. (1969) : Comparaison micromorphologique de quelques sols sur limon du Bassin Parisien. Coll. sur les limons du bassin de Paris. – *Mém. H.S. Soc. géol. Fr.*, 5, Paris, p. 73-80.

JAMAGNE M. (1973) : Contribution à l'étude pédogénétique des formations lœssiques du Nord de la France. – Thèse Sci., Fac. Sci. Agron. Gembloux, Belgique, 445 p.

JANZEN W. K. et Moss H. C. (1956) : Exchangeable cations in solodized-solonetz and solonetz-like soils of Saskatchewan. – *J. Soil Sci.*, 7, 2, p. 203-212.

JOULIA F. (1960) : Mission de prospection de la bordure occidentale de l'Aïr. – B.R.G.M. Dakar, *multigr.*

JUNG J. et BROUSSE R. (1959) : Classification modale des roches éruptives utilisant les données fournies par le compteur de points. – Masson Édit., Paris, 122 p.

KALOGA B. (1964) : Reconnaissance pédologique des bassins versants des Volta blanche et rouge. 1. Étude pédologique. 2. Résultats analytiques. – Centre ORSTOM, Dakar, *multigr.*

KALOGA B. (1966) : Étude pédologique des bassins versants des Volta blanche et rouge en Haute-Volta. – *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, IV, 1, p. 23-61.

KALOGA B. (1969) : Étude pédologique de la Haute-Volta région centre sud. – ORSTOM, Dakar, 247 p.

KALOGA B. (1970) : Étude pédologique des bassins versants des Volta blanche et rouge (3e partie). Sols associés aux vertisols : sols halomorphes. – *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, VIII, 2, p. 187-218.

KALOGA B. (1972) : Premiers résultats d'une étude morphologique et dynamique détaillée des sols cuirassés du centre sud de la Haute-Volta : les horizons ferruginisés et les horizons d'altération sous-jacents. – *Bull. Liais.* Thème B, nº 3, ORSTOM, p. 29-43.

KARPOFF A. M. (1973) : Géochimie de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad. – Thèse 3e cycle, Strasbourg, 70 p.

KLINGE H. (1965) : Podzol soils in the Amazon basin. – *J. Soil Sci.*, p. 95-103.

KREMER A. M. (1970) : Hétérogénéité de la couverture pédologique en tant que systèmes à organisation autonome. – Trad. du russe, ORSTOM.

KUNIN R. et ROBBINS W. R. (1944) : The relative availability to plants of exchangeable calcium from soil separate of sand, silt and clay. – *Soil Sci.*, 57, 2, p. 137-142.

LAMOUROUX M. (1971) : Étude des sols formés sur roches carbonatées. Pédogenèse fersiallitique au Liban. – Thèse Sci., Strasbourg et ORSTOM Bondy, 314 p.

LEFEVRE R. (1961) : Étude d'écoulement dans le massif de l'Aïr, campagne 1960. – ORSTOM *multigr.*

LEGRAND M. (1968) : Levé géologique du quart sud-est de la feuille Pama. – Rap. D.G.M. Ouagadougou.

LELONG F. et MILLOT G. (1966) : Sur l'origine des minéraux micacés des altérations latéritiques. Diagenèse régressive - Minéraux en transit. – *Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, 19, 3-4, p. 271-287.

LEPRUN J. C. et MOREAU (1969) : Étude pédologique de la Haute-Volta. Région ouest-nord. – ORSTOM, Dakar.

LEPRUN J. C. (1971) : Nouvelles observations sur les formations dunaires sableuses fixées du Ferlo nord-occidental (Sénégal). – *Bull. Liais. Assoc. Sénég. Et. Quatern. Ouest Afr.*, 31-32, p. 69-78.

LEPRUN J. C. (1971) : Premières observations sur des toposéquences à amont cuirassé en Haute-Volta orientale : rôle de la pédogenèse dans la destruction des cuirasses et le façonnement du modelé. – *Bull. Liais.* Thème B, ORSTOM, 2, p. 39-53

LEPRUN J. C. (1972) : Cuirasses ferrugineuses autochtones et modelé des bas-reliefs des pays cristallins de Haute-Volta orientale. – *C.R. Acad. Sci.*, Paris, 275 D, 12, p. 1207-1210.

LEPRUN J. C. (à paraître) : Le démantèlement des cuirasses ferrugineuses. Étude et importance du phénomène en Afrique de l'Ouest. – *C.R. Acad. Sci.*, Paris.

LEVÊQUE A. (1969) : Les principaux événements géomorphologiques et les sols sur le socle granito-gneissique au Togo. – *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, VII, 2, p. 203-224.

LEVÊQUE A. (1972) : Les trois principaux types de toposéquences et les grands traits de la pédogenèse sur le socle cristallophyllien du Centre-Togo. – *Bull. Liais.* Thème B, 3, ORSTOM, p. 15-28.

MAIGNIEN R. (1958) : Le cuirassement des sols en Guinée, Afrique occidentale. – *Mém. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, 16, Strasbourg, 239 p.

MAIGNIEN R. (1960) : Influences anciennes sur la morphologie, l'évolution et la répartition des sols en Afrique tropicale de l'Ouest. – Int. Congr. Soil Sci., 7, Madison, IV, p. 171-176.

MAIGNIEN R. (1963) : Les sols subarides en A.O.F. – Ve Congr. Intern. Sci. Sol., Léopoldville, IV, p. 23-27.

MAIGNIEN R. (1963) : Les sols bruns eutrophes tropicaux. – Coll. C.C.T.A. Class. Sol. rég. Intertrop. Lovanium.

MAIGNIEN R. (1965) : Carte pédologique du Sénégal à 1/1 000 000. Notice explicative. – ORSTOM, 63 p.

MC KEAGUE J. A., MAC DOUGALL J. I., LANGMAID K. K. et BOURBEAU G. A. (1969) : Macro- and micromorphology of ten reddish brown soils from the Atlantic provinces. – *Canad. J. Soil Sci.*, 49, p. 53-63.

MERMUT A. et PAPE Th. (1971) : Micromorphology of two soils from Turkey, with special reference to in situ formation of clay cutans. – *Geoderma*, 5, p. 271-281.

MICHEL P. (1959) : L'évolution géomorphologique des bassins du Sénégal et de la Haute-Gambie. Ses rapports avec la prospection minière. – *Rev. Géomorph. dyn.*, X, 5-12, p. 117-143.

MICHEL P. (1969) : Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Étude géomorphologique. – Thèse Lettres, Strasbourg, 1168 p.

MILLER D. E. et GARDNER W. H. (1962) : Water infiltration into stratified soil. – *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 26, 2, p. 115-119.

MILLER F. P., HOLOWAYCHUK N. et WILDING L. P. (1971) : Canfield silt loam, a fragiudalf. I et II. – *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 35, p. 319-331.

MILLOT G. et BONIFAS M. (1955) : Transformations isovolumétriques dans les phénomènes de latéritisation et bauxitisation. – *Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, 10, 2, p. 17-21.

MILLOT G. (1964) : Géologie des argiles. – Masson Édit., Paris, 499 p.

MILLOT G. (1971) : Géochimie des altérations. Rapport sur les opérations concertées de la D.G.R.S.T. – *Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, 24, 4, p. 181-217.

MILNE G. (1935) : Composite units for the mapping of complex soil associations. – IIIrd Intern. Congr. Soil Sci., 1, p. 345-347.

MILNE G. (1935) : Some suggested units of classification and mapping, particularly for East African soils. – Soil Res. suppl. *Proc. Intern. Soc. Soil Sci.*, 4, 3, p. 183-198.

NAGTEGAAL P. J. C. (1969) : Microtextures in recent and fossil caliche. – Leidse geol. Mededelingen, 42, p. 131-142.

NAHON D. (1971) : Genèse et évolution des cuirasses ferrugineuses quaternaires sur grès : exemple du massif de N'Diass (Sénégal oriental). – *Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, 24, 4, p. 219-241.

NAHON D. et RUELLAN A. (1972) : Encroûtements calcaires et cuirasses ferrugineuses dans l'Ouest du Sénégal et de la Mauritanie. – *C.R. Acad. Sci.*, Paris, 274 D, p. 509-512.

NETTLETON W. D., DANIELS R. B. et MCCRACKEN R. I. (1968) : Two North-Carolina coastal plain catenas. I. Morphology and fragipan development. – *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 32, p. 577-582.

NETTLETON W. D., FLACH K. W. et NELSON R. E. (1970) : Pedogenic weathering of tonalite in southern California. – *Geoderma*, 4, p. 387-402.

NOVIKOFF A. (1969) : L'altération des roches dans le massif du Chaillu. République du Congo. – Centre ORSTOM, Brazzaville, *multigr.*

NOVIKOFF A., TSAWLASSOU G., GAC J. Y., BOURGEAT R. et TARDY Y. (1972) : Altération des biotites dans les arènes des pays tempérés, tropicaux et équatoriaux. – Sci. Géol., Bull., Strasbourg *(Bull. Serv. Carte géol. Als, Lorr.)*, 25, 4, p. 287-305.

NYE P. H. (1954) : Some soil-forming processes in the humid tropics. I – A field study of a catena in the West African forest. – *J. Soil Sci.*, 5, 1, p. 7-21.

NYE P. H. (1955) : Some soil-forming processes in the humid tropics. III – Laboratory studies on the development of a tropical catena over granitic gneiss. – *J. Soil Sci.*, 65, p. 63-72.

PAQUET H., MAIGNIEN R. et MILLOT G. (1961) : Les argiles des sols des régions tropicales semi-humides d'Afrique occidentale. – *Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, Strasbourg, 14, 4, p. 111-128.

PAQUET H. (1970) : Évolution géochimique des minéraux argileux dans les altérations et les sols des climats méditerranéens et tropicaux à saisons contrastées. – *Mém. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, Strasbourg, 30, 210 p.

PEDRO G. (1964) : Contribution à l'étude expérimentale de l'altération géochimique des roches cristallines. – *Ann. Agron.*, 15, 2-4, 344 p.

PEDRO G. (1966) : Essai sur la caractérisation géochimique des différents processus zonaux résultant de l'altération des roches superficielles (cycle alumino-silicique). *C.R. Acad. Sci.*, Paris 262 D, p. 1828-1831.

PEDRO G. et CHAUVEL A. (1973) : Sur la nature et l'importance relative des principaux mécanismes intervenant dans le processus de lessivage pédologique. – *C.R. Acad. Sci.*, Paris, 277 D, p. 1133-1136.

PENMAN H. L. (1948) : Natural evaporation from open water bare soil and grass – *Proc. Roy. Soc.* A., 193, p. 124.

PERELMAN A. I. (1965) : Particularités de la migration hypergène des éléments chimiques dans le contexte géologique et de paysage différent. – Comité géol. d'État de l'URSS, Moscou (trad. française, 113 p.).

PERELMAN A. (1967) : Geochemistry of epigenesis. – Plenum Press, New York, 266 p.

PETTIJOHN F. J. (1957) : Sedimentary rocks. 2nd éd., Harper et Brothers, New York, 718 p.

PETTIJOHN F. S., POTTER P. E., et SIEVER R. (1972) : Sand and sandstone. – Springer Verl., Berlin, Heidelberg, New York, 618 p.

PIAS J. (1960) : Sédimentation au Quaternaire dans l'Est de la cuvette tchadienne (Massifs du Ouddaï et de l'Ennedi, plaines de piedmonts). – *C.R. Acad. Sci.*, Paris, 250, p. 1514-1516.

PIAS J. (1968) : Les formations sédimentaires tertiaires et quaternaires de la cuvette tchadienne et les sols qui en dérivent (République du Tchad). – *Mém. ORSTOM*, 43, Paris, 408 p.

POLYNOV B. B. (1952) – Geographical works. – Geografgiz, Moscou.

RICHARD MOLLARD J. (1949) : L'Afrique occidentale française. – Berger Levrault édit. Paris, 247 p.

RODE A. A. (1956) : Catégories et formes de l'eau du sol et les propriétés hydrologiques des sols. VI[e] Congr. Intern. Sci. Sol., Paris, B, p. 135-147.

RODE A. A., YARILOVA Y. A. et RASHEVSKAYA I. M. (1960) : Certain genetic characteristics of dark soils of large depressions. – *Soviet Soil Sci.*, p. 799-809.

RODE A. A. (1961) : The soil-forming process and soil evolution. – Israel program for scient. transl., 100 p.

RODE A. A., YARILOVA E. A. et RASHEVSKAYA I. M. (1969) : Genetic peculiarities of profile in Liman solod soils. *In* : Advances in the theory of podzolization and solodisation. – A. A. RODE édit. Israel progr. for scient. transl., p. 58-90.

ROMASHKEVICH A. I. (1964) : Micromorphological indication of the processes associated with the formation of the krasnozems (red earths) and the red-coloured crust of weathering in the Transcaucasus. – Trans. 2nd. Intern. Working Meet. Soil Micromorph., A. Jongerius édit., p. 261-267.

ROMASHKEVICH A. (1965) : Micromorphological features of processes leading to the formation of red earth and red weathering crusts of the Black Sea coast of the Caucasus. – *Soviet Soil Sci.*, 4, p. 407-415.

ROOSE E. J. (1968) : Un dispositif de mesure du lessivage oblique dans les sols en place. – *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, VI, 2, p. 235-249.

ROOSE E. J. et BIROT Y. (1970) : Mesure de l'érosion et du lessivage oblique et vertical sous savane arborée du plateau Mossi (Gonsé - Haute-Volta). I – Résultats des campagnes 1968-1969. – Centre Techn. Forest. trop. ORSTOM, 148 p., *multigr.*

RUBILINA N. Y.E. (1971) : Some properties of brown forest soils in the Carpathians and the northern Caucasus. – *Soviet. Soil Sci.*, 3, 6, p. 653-656.

RUELLAN A. et DELETANG J. (1967) : Les phénomènes d'échange de cations et d'anions dans les sols. – ORSTOM *Init. Doc. techn.*, 5, 123 p.

RUELLAN A. (1968) : Excursion dans l'Adrar mauritanien. Quelques observations. *Bull. Liais. Assoc. Sénég. Et. Quat. Ouest. Afr.*, 19-20, p. 27-34.

RUELLAN A. (1970) : Les sols à profil calcaire différencié des plaines de la Basse Moulouya (Maroc oriental). – *Mém. ORSTOM*, 54, 302 p.

RUNGE E. C. A. (1973) : Soil development sequences and energy models. – *Soil Sci.*, 115, 3, p. 183-193.

SANDOVAL F. M. et REICMAN G. A. (1971) : Some properties of solonetzic (sodic) soils in western North Dakota. – *Canad. J. Soil Sci.*, 51, 2, p. 143-155.

SERVANT M. et S. (1970) : Les formations lacustres et les diatomées du Quaternaire récent du fond de la cuvette tchadienne. – *Rev. Géogr. phys. Géol. dyn.*, XII, 1, p. 63-76.

SERVANT M. (1973) : Séquences continentales et variations climatiques : évolution du bassin du Tchad au Cénozoïque supérieur. – Thèse Sci. Paris, 348 p.

SIEFFERMANN G., JEHL G. et MILLOT G. (1968) : Allophanes et minéraux argileux des altérations récentes des basaltes du Mont Cameroun. – *Bull. Groupe franç. Argiles*, XX, p. 109-129.

SIEFFERMANN G. (1969) : Les sols de quelques régions volcaniques du Cameroun. Variations pédologiques et minéralogiques du milieu équatorial au milieu tropical. – Thèse Sci. Strasbourg et *Mém. ORSTOM*, 66, 183 p.

SMITH B. R. et BUOL S. W. (1968) : Genesis and relative weathering intensity studies in three semiarid soils. – *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 32, p. 261-265.

SOUCHIER B. et LELONG F. (1970) : Détermination quantitative par voie chimique des constituants minéralogiques des sols tempérés. – *Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, Strasbourg, 23, 3-4, p. 95-112.

ST ARNAUD R. J. et WHITESIDE E. P. (1964) : Morphology and genesis of a chernozemic to podzolic sequence of soil profiles in Saskatchewan. – *Canad. J. Soil Sci.*, 44, 1, p. 88-99.

STEPHEN I. (1960) : Clay orientation in soil. – *Sci Progress*, 48, p. 323-331.

STOOPS G. (1968) : Micromorphology of some characteristic soils of the Lower Congo (Kinshasa) – *Pédologie*, Gand, XVIII, 1, p. 110-149.

TARDY Y. et GAC J. Y. (1968) : Minéraux argileux et vermiculite-Al dans quelques sols et arènes des Vosges. Hypothèse sur la néoformation des minéraux à 14 Å. – *Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, 21, 4, p. 285-304.

TARDY Y. (1969) : Géochimie des altérations. Étude des arènes et des eaux de quelques massifs cristallins d'Europe et d'Afrique. – *Mém. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, 31, 199 p.

TARDY Y., BOCQUIER G., PAQUET H. et MILLOT G. (1973) : Formation of clay from granite and its distribution in relation to climate and topography. – *Geoderma*, 10, 4, p. 271-284.

THOMANN C. (1964) : Les différentes fractions humiques de quelques sols tropicaux de l'Ouest Africain. – *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, II, 3, p. 43-79.

THORNTHWAITE C. W. (1948) : An approach toward a rational classification of climate. – *Geogr. Review*, p. 55-94.

THORP J., CADY J. G., GAMBLE E. E. (1959) : Genesis of Miami silt loam. – *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 23, p. 65-70.

TILHO J. (1910, 1911, 1914) : Documents scientifiques de la Mission Tilho. – Impr. nat. Paris, 3 vol..

TRICART J. et CAILLEUX A. (1960) : Le modelé des régions sèches ; fasc. 1 : le milieu morphoclimatique Les mécanismes morphogénétiques des régions sèches. – Centre Document. Univ. Paris, 129 p.

TRICART J. (1970) : Le modelé des régions sèches. Traité de géomorphologie par J. TRICART et A. CAILLEUX, t. IV, 44 fig. 51 photographies.

TRICART J. (1973) : La géomorphologie dans les études intégrées d'aménagement du milieu naturel. Annales de Géographie, LXXXII, p. 421-453.

TRICART J., GERRA DE MACEDO N., CARDOSO DASILVA T., BROCHU M. et AVENARD J.-M. (1965) : Rapport de la mission de reconnaissance géomorphologique de la vallée moyenne du Niger (janvier-avril 1957). Mém. IFAN, n° 2, 196 p.

TROMPETTE R. et MANGUIN E. (1967) : Nouvelles observations sur le Quaternaire lacustre de l'extrémité sud-est de l'Adrar de Mauritanie (Sahara occidental). – Actes VIe Congr. Panafr. Préhist. Et. Quatern. Dakar, p. 498-504.

TSAWLASSOU G. (1971) : Géochimie de l'altération des roches granitiques et gneissiques en pays tropical et équatorial. Évolution des biotites et des feldspaths. – Thèse 3e cycle Sci., Strasbourg, 68 p.

TURC L. (1953) : Le bilan d'eau des sols, relations entre les précipitations, l'évaporation, l'écoulement. – Thèse Sci. Paris.

TURC L. (1961) : Évaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle. – *Ann. Agron.*, 12 (I)

URVOY Y. (1942) : Les bassins du Niger. Étude de géographie physique et de paléo-géographie. – *Mém. Inst. Fr. Afr. Noire*, 4, Larose, Paris, 144 p.

VERRET F. (1973) : Contribution à l'étude des phénomènes de lessivage. Analyses et interprétations obtenues au cours des premières recherches expérimentales. – *Mém. DEA*, Lab. Géol. dyn., Univ. Paris VI, 36 p. *multigr.*

VOGT J. (1959) : Aspect de l'évolution géomorphologique récente de l'Ouest Africain. – *Ann. Géogr.*, 367, p. 193-206.

VOS N. C. DE et VIRGO K. J. (1969) : Soil structure in vertisols of the Blue Nile clay plaines Sudan. – *J. Soil Sci.*, 20, p. 189-206.

VYAIN R. (1967) : Notice explicative de la carte géologique au 1/200 000, feuille Diapaga Kirtachi. – Édit. BRGM, 39 p.

WACKERMANN J. (1966) : Les techniques d'études microstructurales utilisées au Centre de Hann - Dakar. – *Bull. Bibl. Pédol.* ORSTOM, XV, 1, p. 18-23.

WACKERMANN J. (1967) : Les faciès pétrographiques de la série de Mako dans les régions de Kanemere et Mamakono (Sénégal oriental). ORSTOM Dakar, 34 p., *multigr.*

WALKER R. T. (1962) : Reversible nature of Chertcarbonate replacement in sedimentary rocks. – *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 73, p. 237-242.

WEBER F. et LARQUE Ph. (1973) : Mise au point d'une méthode d'analyse minéralogique quantitative par diffraction aux rayons X. – *Analysis*, 2, 1, p. 15-29.

WISCHMEIER W. H. (1959) : A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. – *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 23, p. 246-249.

YARILOVA E. A. (1964) : Comparative micromorphological characteristics of some solonetz soils of the steppe and semi-desert zones. – Trans. 2nd. Intern. Working Meet. Soil. Micromorph. A Jongerius Edit., p. 313-323.

YARILOVA YE. A., MAKEYEV O. V. et TSYBZHITOV T. K. (1970) : Genetic and micromorphological characteristics of some soils in the western Balkal region. – *Soviet Soil Sci.*, 2, p. 207-219.

YASSOGLOU N. J. et WHITESIDE E. P. (1960) : Morphology and genesis of some soils containing fragipans in Northern Michigan. – *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 24, p. 396-407.

TOPOSÉQUENCES OF TROPICAL SOILS IN UPPER VOLTA DYNAMIC ÉQUILIBRIUM AND BIOCLIMATE

Owing to the field investigation method used, which consisted of the observation of vertical profiles, the soil was considered for some time as being the product of the vertical and upwards transformation of a parent rock into a series of horizons. This transformation occurred through the loss of soluble elements and the redistribution within the profile of solid particles, soluble mineral and organic matter, due to the effects of meteoric water and biological activity.

It was admittedly soon realized that the soil on a slope situated on a uniform parent rock could vary laterally in an orderly and systematic pattern. However, these lateral variations were primarily ascribed to external factors, namely the parent material and the drainage system, both of which are bound up with the topographical features and are influenced by the vegetation. Even so, oblique leaching was thought to account for a number of the principal pedological mechanisms such as the formation of ferruginous hardpan and limestone accumulation.

These concepts were applied in pedological mapping, at 1: 500,000 scale, of a large part of Sahelo-Sudanese West Africa. They were supplemented, however, by a historical analysis of the different types of soil cover, which was based on the data obtained from the soil geography and geomorphology. It was accordingly possible to explain the distribution of the main soil categories identified in the mapping exercise.

In the meantime, the research carried out by Bocquier in Chad showed, on two toposequences, the leading role played by lateral dynamics in the pedological development of certain slopes. A successive clay accumulations occur downstream and at the foot of sandy leached horizons, which were produced in a previous stage of generalized leaching. These clay accumulations are due both to the vertical migration of solid substances and to the lateral movement, in an upstream-downstream direction, of soluble matter. The outcome is the formation of clay-accumulation horizons due successively to illuviation, to mineralogical transformations and to neoformations. These accumulation horizons are formed on the downstream side of the slopes and move upstreamwards. They accordingly invade the leached horizons. In the Sahelo-Sudanese region, these accumulation horizons are montmorillonitic and have a high base status. Bocquier subsequently postulated a climatic sequence based on dynamic lateral movement in the soil cover ranging from the equator to the arid zone.

Although this interpretation is attractive, it does not, at first sight, explain the origin of many soil covers in West Africa, which display vertical dynamic features. Hence, the issue was that of ascertaining whether there were soil covers with essentially vertical dynamics and others in which lateral dynamics predominated and, if so, what the relations existing between them were.

In Eastern Upper Volta, where the rainfall varies from 400 to 1,000 mm, systematic soil mapping did, in fact, highlight the existence of two sets of toposequences of soils lying on granite rocks, which appeared to reflect the two ideas outlined above.

The first set embraces the toposequences in which the lateral variations along the slope are slight when there is no petrographic variation of the parent rock. There is a gradual transition between profiles in an upstream-downstream direction. This first category, known as "monotonic toposequences" is by far the most widely represented in the region and on the materials investigated.

The second set comprises the toposequences in which the lateral variations along the slope are important, even on a uniform parent rock. Transitions between horizons are sudden and the contrasts are sharp. Known as "contrasted toposequences," this category only appears in specific geological or geomorphological conditions. In Eastern Upper Volta, these conditions are, respectively, a coarse-grained leucocratic granite parent rock and the presence of an inselberg at interfluve summits.

Study of these two major types of pedological organization of the slopes makes it possible to reveal the main mechanisms governing the differences between them, to allow for the lateral and vertical dynamics and to elucidate their determining features.

***

Monotonic toposequences

In the Northern, Sahelian zone, where rainfall amounts to less than 500 mm, the monotonic toposequences are composed of "sols bruns subarides vertiques" (vertic sub-arid brown soils) or else are an association of solonetz and "sols bruns subarides alcalisés" (alkalized sub-arid brown soils). In the Southern, Sudanese zones, they link "sols bruns eutrophes" (eutrophic brown soils) that are vertic to varying degrees with vertisols.

The micromorphological analysis shows that the B horizons of these soils are the outcome of the in-situ transformation of the weatherable minerals or alteroplasmation. However, the resulting clay plasma is gradually re-organized by the internal dynamics of the horizons which depend on both the flow regime and the swelling properties of the neoformed minerals. This transformation corresponds to the pedoplasmation defined by *Flach et al.* Clay migrations exist but are slight and are exclusively dependent on biological porosity and shrinkage. These clay migrations do not completely obliterate the structures inherited from the weathering process, which are maintained for varying lengths of time depending on the effectiveness of the pedoplasmation.

The foregoing results are confirmed and supplemented by the analytical data. For instance, the soil particle size reveals the simple distribution of the clay fraction in both the profile and the slope. The maximum texture value in the B horizon partly corresponds to the preferential weathering of the primary minerals, which is highlighted by the mineralogy of the skeleton and which corresponds to the maximum wetting level. This clay maximum is also due, although only to a slight extent, to illuviation. Surface action, such as selective erosion of fine particles, and biological activity also play some role, but are more difficult to pinpoint.

The clay minerals, which are formed at the foot of the profiles, display an association of montmorillonite and kaolinite present in varying proportions. In the Sahelian zone, the montmorillonite is dominant over all the profile, or over the greater part, and there is no sign of lateral variation with the topographical features. In the Sudanese zone, on the other hand, the montmorillonite gradually gives way to the kaolinite on the upstream side, thereby initiating a downstreamwards recession which may conceivably indicate that kaolinite is spreading to the entire landscape of the wet tropical regions.

From the geochemical standpoint, the accumulation also vary with the latitude. In the North, the absolute vertical accumulation of limestone is characteristic of the soils of monotonic sequences covering granite rocks. It is accompanied by a slight relative accumulation of sodium, which causes the alkalinization of the absorbent complex. In the South, on the same parent rocks, limestone accumulation only occurs downstream when the material has a high enough calcium content and the accumulation is only relative. On the upstream side, iron tends to take over from the limestone and displays a slight absolute accumulation in the B horizon of the eutrophic brown soils.

Hence, on the whole, these toposequences form eluvial geochemical landscapes (Polynov). Their eluvial character becomes more marked from North to South as the rainfall increases. However, the eluviation is still not sufficient to prevent the formation of montmorillonite in the weathering products and the presence of this clay mineral is characteristic of the monotonic toposequences of the whole of Eastern Upper Volta. They can accordingly all be classified under the name of "montmorillonite-weathering soil covers."

***

Contrasted toposequences.

The contrasted toposequences are formed, on the upstream side, of "sols ferrugineux tropicaux" or "sols ferrallitiques," in which the clay plasma is also due to the weathering of the primary minerals in the profile, as in the monotonic toposequences. On the one hand, however, the clay migrations are more pronounced than in the first type while, on the other, towards downstream there is a localized redistribution and concentration of oxides and hydroxides which were originally associated to the clay. As a result a laterite crust is formed.

In addition to this development, there is a further difference, in that there is a highly leached horizon with a very low plasma content, which appears at the base of the profile, usually starting in the upper third of the slope, and governs the appearance of bisequa soils. This horizon is initially thin and shaped like a dihedron opening downstreamwards. It rises in the profile as the slope is descended and at the end replaces all the horizons, regardless of whether they have a laterite crust or not. The horizon's upper limit, which separates it from the horizons of the upstream ferrallitic or ferruginous soils, is cut through and has the appearance of a front. It is, in fact, the leaching front. At the same time, at the base of this leached horizon, a compact and hydromorphous lower clay accumulation horizon develops. On the downstream side, in the leached horizon, further illuvial horizons occur in the shape of superimposed tongues. These tongueshaped horizons are set out in a staggered pattern and slope to a slightly greater extent than the topographic surface, while the mantle describes a series of offsets reminiscent of staircase steps (see figure 26, (h.t.). The upper part of these accumulation horizons is also cut through and marks the limits of an illuviation front.

It can be seen from the microscopic analysis that the deep leaching causes the sudden destruction of the pre-existing weathering or pedological structures by the virtually total expulsion of the argilo-ferruginous plasma. Once its plasma matrix has been removed, the skeleton re-organizes itself and picks up deposition microstructures. The particle-size analysis of the sand shows that, in the lower B horizon, there is an accumulation of particles ranging in diameter from clays to fine sands inclusive, while the tongue-shaped horizons are the site of an exclusively clay particle illuviation. Data on the flow regime indicated that these two types of illuvial horizon are formed within suspended watertables wetting the leached area. The lower accumulation horizon is produced by the literal decantation of varying-sized particles (vertical accumulation), while the tongue-shaped horizons are fed by the migration of suspended particles (lateral accumulation). It is accordingly possible to put forward a chronological pattern for the development of these toposequences and, by the same token, to explain a number of their specific features (see figure 69, p. 213).

These redistribution patterns are responsible for the changes in the mineralogical composition of the clay fraction. In the ferrallitic or ferruginous horizons on the upstream side, the clay fraction is formed of pure kaolonite or of kaolinite in association with a small amount of illite. The mixed illite-montmorillonite minerals appear in the leached horizon and are due to weathering of the skeleton specific to that horizon. This weathering is clearly shown up in the mineralogical composition of the sandy fraction. In the accumulation horizons, the montmorillonite is present in large quantities and is due, to a slight extent, to the transformation of the mixed illite-montmorillonite layers, while the rest is produced by neoformations from illuviated matter.

Hence, the leaching-illuviation mechanisms that are revealed are found to advance in a downstream-upstream direction. They disorganize an eluvial soil cover having a kaolinitic and ferruginous plasma and convert it into an illuvial soil cover with a clay fraction which contains a substantial amount of montmorillonite. The composition and organization of this eluvial soil cover ressemble those of soil covers due to montmorillonite weathering which are formed directly from granite rocks on the majority of the interfluves in the region. The circuitous route taken by these lateral-distribution soil covers is dictated, in the cases studied, by geomorphological factors (the presence of a make-up impluvium formed by an inselberg) or by petrographic factors (the parent rock formed by a coarse-grained leucocratic granite). These are both features which cause increased or accelerated percolation at the outset. As a result kaolinitic soils are formed in an environment which at present normally produces montmorillonite soils.

These causes are therefore relevant to the present day, but there are also other causes, especially of a historical nature. This is the case in respect of old hardpan formations in the same region, which are subject to the same type of transformation mechanisms.

***

The conclusion to be drawn from the foregoing is that, in instances where kaolinitic and ferruginous soil covers can be formed or have already been formed in the Sudanese climatic zone, those soil covers are instable. They are subject to soil transformation mechanisms which cause them to converge towards the montmorillonite plasma system, in dynamic equilibrium in the pedobioclimatic conditions of this zone. The following are accordingly examined in turn:

— the areas of equilibrium or disequilibrium of the montmorillonitic and kaolinitic soil covers of this zone, as a result of the climate becoming more arid or wetter;

— the conditions in which the mineralogical constituents or soil organizations display stability or instability;

— the known or possible causes of pedobioclimatic disequilibrium.

Table des figures

1. Carte de situation 12
2. Coupe schématique E.W. des diverses surfaces en Haute-Volta orientale 14
3. Variation de la température au cours de l'année 18
4. Isohyètes et histogrammes pluviométriques 19
5. Humidité relative et déficit de saturation 20
6. Évolution des rapports P/E, localisation des périodes à diatomées cryophiles, et évolution des écoulements superficiels dans l'Aïr, au cours des quarante derniers millénaires. Tiré de M. SERVANT, 1973 27
7. Variations du niveau de la mer et du climat en Mauritanie méridionale. Tiré de ÉLOUARD et FAURE, 1967 28
8. Limites méridionales des sables vifs actuels et des formations sableuses éoliennes fixées en Haute-Volta, au Niger et au Mali 29
9. Nature du support des ergs 31
10. Relation stratigraphique entre les sables éoliens anciens et les sols du bas glacis 32
11. Coupe de la toposéquence de Garango I 42
12. Abondance relative des minéraux primaires, des divers types de plasma et des traits pédologiques dans le profil G1 52
13. Coupe de la toposéquence de Soffokel 63
14. Coupe de la toposéquence de Tassamakat — Pl. V 67
15. Passage des solonetz aux sols bruns — Pl. V 67
16. Coupe de l'îlot de cuirasse démantelée situé à l'amont de la séquence de Tassamakat 73
17. Diébiga, la toposéquence amont . . . . . } en dépliant à la fin du volume
18. Diébiga, la toposéquence aval . . . . . } en dépliant à la fin du volume
19. Plan de localisation des toposéquences dans le bassin versant . } en dépliant à la fin du volume
20. Coupe schématique et synthétique des toposéquences amont et aval de Diébiga. Nomenclature des horizons 78
21. Coupe de la toposéquence C de Diébiga 79
22. Abondance relative des minéraux primaires, des divers types de fond matriciel et des traits pédologiques dans le profil D1 87
23. Abondance relative des minéraux primaires, des divers types de fond matriciel et des traits pédologiques dans le profil D4 87
24. Coupe d'une « cuvette », au niveau du profil D4 — Pl. VIII p. 87 88
25. Mode d'apparition des ségrégations et de la carapace dans l'horizon B supérieur de Diébiga . 98
26. Coupe de la toposéquence de Garango II . . . . . en dépliant à la fin du volume
27. Schéma du profil G11 3 115
28. Schéma du profil G11 7 115
29. Zone d'extension des reliques de structures pédologiques initiales à Garango II 127
30. Garango I : granulométrie 134
31. Tassamakat : granulométrie 135
32. Soffokel : granulométrie 136
33. Granulométrie comparée d'un solonetz et du sol brun contigu (aval). Toposéquence de Tassamakat 137
34. Diébiga : granulométrie 140

35. Garango II : granulométrie 141
36. Poids des différentes fractions granulométriques dans 100 cm³ de sol. Profils D1 et D4 . . . 144
37. Toposéquences monotones : Rapport sable fin/sable grossier 146
38. Diébiga : Rapport sable fin/sable grossier 147
39. Garango II : Rapport sable fin/sable grossier 149
40. Diébiga : granulométrie du squelette 150
41. Garango I : Composition minéralogique de la fraction argileuse 154
42. Garango I : Isovaleurs de la montmorillonite en % de la terre totale 154
43. Garango I : Isovaleurs de la kaolinite en % de la terre totale 154
44. Tassamakat : Composition minéralogique de la fraction fine 155
45. Soffokel : Composition minéralogique de la fraction fine 155
46. Diébiga : Composition minéralogique de la fraction argileuse 159
47. Diébiga : Abondance des divers minéraux argileux % de la terre totale 159
48. Garango II : Composition minéralogique de la fraction fine 161
49. Isovaleurs des teneurs en interstratifiés ou en montmorillonite % de la terre totale (Garango II) 161
50. Isovaleurs des teneurs en kaolinite % de la terre totale (Garango II) 161
51. Garango I : Composition minéralogique de la fraction sableuse 165
52. Garango I : Isovaleurs du rapport feldspaths/quartz 165
53. Tassamakat : Composition minéralogique de la fraction sableuse 165
54. Garango II : Composition minéralogique de la fraction sableuse 168
55. Garango II : Isovaleurs du rapport feldspaths/quartz 168
56. Diébiga : Minéralogie des sables 170
57. La matière organique 174
58. La capacité d'échange 176
59. Le pH 178
60. L'équilibre des bases et le rapport Na/T 180
61. Bilan isovolumetrique dans quelques séquences d'horizons 187
62. Toposéquence de Garango II : Résultats des analyses triacide et totale ; Na, Ca, Mg 198
63. Toposéquence de Garango II : Résultats des analyses triacide et totale ; Fe, Mn, K 199
64. Régime hydrique des toposéquences monotones septentrionales 202
65. Régime hydrique des toposéquences monotones méridionales (Garango I) 205
66. Garango II : Régime hydrique 208
67. Garango II : Chimie des eaux 210
68. Profil textural d'un Mollic albaqualf soumis à une nappe fluctuante d'après RUNGE, 1973 . . 212
69. Schéma proposé pour la formation des divers horizons B illuviaux de la toposéquence de Garango II 213
70. Variations latitudinales des couvertures pédologiques d'altération montmorillonitique au sud du Sahara, passage aux couvertures pédologiques kaoliniques 222
71. Composition minéralogique des argiles, des sols bruns subarides vertiques au sol ferrallitique 228
72. Migrations d'argile, minéralogie et géochimie — Variations des sols bruns subarides au sol ferrallitique jeune de Garango II 230
73. Influence du barrage aval sur le développement du domaine illuvial 237

Liste des tableaux

I. Composition chimique de quelques granites de Haute-Volta orientale 16
II. Variations interannuelles de la pluviosité 18
III. Évaporation Piche 20
IV. Drainage et évapotranspiration mesurés en case lysimétrique à Bambey 22
V. E.T.P., E.T.R. et drainage calculés (TURC) 23
VI. Drainage annuel HÉNIN-AUBERT 24
VII. Érosion et ruissellement 25
VIII. Composition minéralogique des matériaux de la toposéquence de Garango I 42
VIII *bis*. Séquences de différenciation et filiations dans le profil sommital de la toposéquence de Garango I 53

IX. Séquence verticale des organisations micromorphologiques et des macrostructures de Gi2 57
X. Organisations et filiations dans la toposéquence de Diébiga. 103
XI. Le passage des sols ferrallitiques aux sols ferrugineux à Garango II 113
XII. Succession verticale des organisations des sols aval de la séquence de Garango II . . . 125
XIII. Gammes texturales des divers domaines de la toposéquence de Garango II 142
XIV. Classes granulométriques du squelette des sols de Diébiga 151
XV. Composition minéralogique de la fraction argileuse des séquences d'horizons isovolumes 185
XVI. Tassamakat, résultats des analyses triacide et totale 191
XVII. Teneurs en fer du profil S3 Soffokel 193
XVIII. Garango I, résultats des analyses triacide et totale 195
XIX. Garango II — Analyse triacide. Teneurs moyennes des divers domaines en % de la terre totale 197
XX. Teneurs en sodium et calcium du résidu de l'attaque triacide dans quatre profils types de Garango II 200

Table des matières

Avant-propos 7
Introduction 9

Première partie

LE MILIEU NATUREL

I. — LOCALISATION GÉOGRAPHIQUE 13
II. — LES GRANDS TRAITS GÉOGRAPHIQUES ET GÉOMORPHOLOGIQUES DE LA HAUTE-VOLTA — RELATIONS AVEC LA DISTRIBUTION DES SOLS 13
III. — APERÇU GÉOLOGIQUE 15
IV. — CLIMAT ACTUEL, PÉDOCLIMAT ET ÉROSION 17
V. — LES CLIMATS ANCIENS ET LEUR HÉRITAGE PÉDOLOGIQUE . . . 26
VI. — LA VÉGÉTATION, REFLET DU CLIMAT ET DES SOLS 33

Deuxième partie

ÉTUDE MORPHOLOGIQUE

Introduction 39

CHAPITRE I. — TOPOSÉQUENCES A FAIBLE DIFFÉRENCIATION LATÉRALE 41

I. — LA TOPOSÉQUENCE DE GARANGO I 41

LE PROFIL SOMITAL $G_1$1

A. *Description macromorphologique* 43
B. *Étude micromorphologique* 44

LE PROFIL DE TIERS SUPÉRIEUR DE PENTE $G_1$2

A. *Description macromorphologique* 54

B. *Description micromorphologique* 54
C. *Conclusions et interprétations* 57

LE PROFIL DE BAS DE PENTE $G_1 4$

A. *Description macromorphologique* 58
B. *Étude micromorphologique* 60
Conclusions 62

II. — LA TOPOSÉQUENCE DE SOFFOKEL 63

III. — LA TOPOSÉQUENCE DE TASSAMAKAT 66

CHAPITRE II — TOPOSÉQUENCES A DIFFÉRENCIATION LATÉRALE ACCENTUÉE 75

I. — LES TOPOSÉQUENCES DE DIEBIGA 76

A. *Roche mère, modelé, végétation* 76
B. *Vue d'ensemble sur les sols et leur organisation en toposéquences* . . . 76
C. *Étude morphologique des profils caractéristiques* 80
1. Sol ferrugineux sans taches ni concrétions amont : profil D1 . . . 80
2. Sols ferrugineux à taches et organisation biséquale : profil D4 . . 86
3. Sols ferrugineux carapacés à organisation biséquale : profil D8 . . 96
4. Sols lessivés à pseudogley et à reliques de carapace : profil D10 . 98
5. Planosols : profil D11 99
6. Planosols à organisation biséquale : profil D12 100
D. *Résumé et conclusions* 102

II. — LA TOPOSÉQUENCE DE GARANGO II 104

A. *Roche mère, modelé, végétation* 104
B. *Organisation générale de la toposéquence* 105
C. *Les données morphologiques et leur interprétation* 106
1. Les sols ferrallitiques de l'amont 106
2. Le passage aux sols ferrugineux 112
3. L'horizon lessivé A'2 114
4. Le système illuvial inférieur (A'2B' + B'2) 116
5. Les horizons B2 en langue et les horizons A2B intercalés (B''_2 à B''''_2) 120
6. L'horizon BC et les sols de l'aval 122
D. *Conclusions* 126

Troisième partie

ÉTUDE ANALYTIQUE

Introduction 132

CHAPITRE III — LA GRANULOMÉTRIE 133

I. — LA FRACTION FINE : ARGILE ET LIMON 133

A. *Toposéquences monotones* 133
1. Variations verticales de la fraction fine 133
2. Cartes d'isovaleurs de l'argile granulométrique 138

B. *Toposéquences contrastées* 139
1. Variations verticales des teneurs en fraction fine 139
2. Carte d'isovaleurs de l'argile granulométrique 142

II — LE SQUELETTE : SABLE FIN, SABLE GROSSIER, GRAVIER 143

A. *Spectres granulométriques globaux* 143
B. *Le rapport sable fin/sable grossier* 145
1. Le rapport sable fin/sable grossier dans les toposéquences monotones 145
2. Le rapport sable fin/sable grossier dans les toposéquences contrastées 147
C. *Granulométrie détaillée de quelques profils de Diébiga* 150

III — CONCLUSIONS 151

CHAPITRE IV — MINÉRALOGIE DES CONSTITUANTS DES SOLS 153

I — MINÉRALOGIE DES ARGILES 153

A. *Les minéraux argileux dans les toposéquences monotones* 153
1. Variations verticales 153
2. Variations latérales 156
3. Conclusions 157
B. *Les minéraux argileux dans les toposéquences contrastées* 158
1. La toposéquence de Diébiga 158
2. La toposéquence de Garango II 160
3. Première approche de la dynamique des minéraux argileux dans les toposéquences contrastées 163

II. — MINÉRALOGIE DES SABLES 164

A. *La Minéralogie de la fraction sableuse des toposéquences monotones* . 164
B. *La minéralogie de la fraction sableuse des toposéquences contrastées* . . 167
1. La toposéquence de Garango II 167
2. La toposéquence de Diébiga 169
C. *Conclusions* 171

CHAPITRE V. — LES PROPRIÉTÉS CHIMIQUES 173

I. — LA MATIÈRE ORGANIQUE 173

II. — LE COMPLEXE ABSORBANT 175

A. *La capacité d'échange* 175
B. *Le pH et le taux de saturation* 177
C. *L'équilibre des bases échangeables* 179
D. *Résumé* 183

III. — LA COMPOSITION CHIMIQUE GLOBALE DES SOLS 183

A. *Méthodes analytiques* 183
B. *Application du raisonnement isovolumétrique à quelques séquences d'horizons* 184

C. *Le complexe d'altération et la phase résiduelle* 189
1. Toposéquences monotones 190
2. Toposéquences contrastées 196

CHAPITRE VI. — DONNÉES SUR LE RÉGIME HYDRIQUE DES TOPOSÉQUENCES MONOTONES ET DES TOPOSÉQUENCES CONTRASTÉES — APERÇU SUR LA GÉOCHIMIE DES EAUX DE LA TOPOSÉQUENCE DE GARANGO II . . . 201

I. — Régime hydrique des toposéquences monotones 201
A. *Région sahélienne : Soffokel et Tassamakat* 201
B. *Région soudannienne : Garango I* 204
C. *Conclusions* 206

II. — Régime hydrique et géochimie des eaux de la toposéquence de Garango II 207
A. *Régime hydrique* 207
B. *Données géochimiques relatives aux nappes de la toposéquence de Garango II* 209
C. *Conséquences sur la dynamique des éléments figurés dans les systèmes éluviaux-illuviaux des toposéquences contrastées* 211
D. *Conclusions* 214

Quatrième partie

INTERPRÉTATION D'ENSEMBLE

Introduction 216

CHAPITRE VII. — LES COUVERTURES PÉDOLOGIQUES D'ALTÉRATION MONTMORILLONITIQUE 217

I. — La différenciatiom des couvertures d'altération montmorillonitique 217
A. *Caractères généraux* 217
B. *Aspect morphologique* 217
C. *Aspect géochimique et minéralogique* 218
D. *Conclusions* 219

II. — Variations latitudinales des couvertures pédologiques d'altération montmorillonitique 219
A. *Variations constatées dans le cadre de cette étude* 219
1. Variations minéralogiques 219
2. Variations géochimiques 219
3. Conséquences sur la dynamique des éléments dans les paysages . 220
B. *Éléments de comparaison avec les sols sur migmatite en zone aride* . . 221

C. *Problème de l'actualité des différenciations pédologiques que nous observons* 221

III. — Conclusions 223

CHAPITRE VIII. — LES COUVERTURES PÉDOLOGIQUES A REDISTRIBUTION LATÉRALE 225

I. — La différenciation des séquences initiales 225

A. *Caractères généraux* 225
B. *Aspect morphologique* 226
C. *Aspect minéralogique* 228
D. *Aspect géochimique* 229
E. *Variations latitudinales* 229
F. *Conclusions* 231

II. — La différenciation des séquences secondaires a redistribution latérale 232

A. *Organisation des domaines lessivé et illuvial* 232
B. *La transformation des horizons de la séquence initiale dans le domaine lessivé* 233
C. *Dynamique du domaine lessivé* 233
D. *Dynamique du domaine illuvial* 234
E. *Conclusions* 235

III. — La genèse et l'autodéveloppement des systèmes éluviaux-illuviaux latéraux 235

A. *Situation de la séquence à redistribution latérale dans l'espace et le temps* 235
B. *Les conditions de genèse et d'autodéveloppement* 236
C. *L'origine du barrage aval* 236
1. Origine des barrages aval 236
2. Rôle du barrage aval dans la différenciation de la séquence à redistribution latérale 238

CHAPITRE IX. — LES RELATIONS ENTRE LES DEUX TYPES DE COUVERTURES PÉDOLOGIQUES ET LA NOTION D'ÉQUILIBRE ET DE DÉSÉQUILIBRE PÉDOBIOCLIMATIQUE 239

I. — Signification des transformations par redistribution latérale 240

II. — La notion d'équilibre et de déséquilibre pédobioclimatique . . 240

III. — Les causes de déséquilibre pédobioclimatique 242

1. Les causes actuelles 242
2. Les causes anciennes : causes paléoclimatiques. 243

CONCLUSIONS GÉNÉRALES 245

BIBLIOGRAPHIE 249

ABSTRACT 259

LISTE DES FIGURES 263

LISTE DES TABLEAUX 264

TABLE DES MATIÈRES 267

Fabrication - Coordination
Hélène DARDENNE

IMPRIMERIE DARANTIERE – DIJON-QUETIGNY

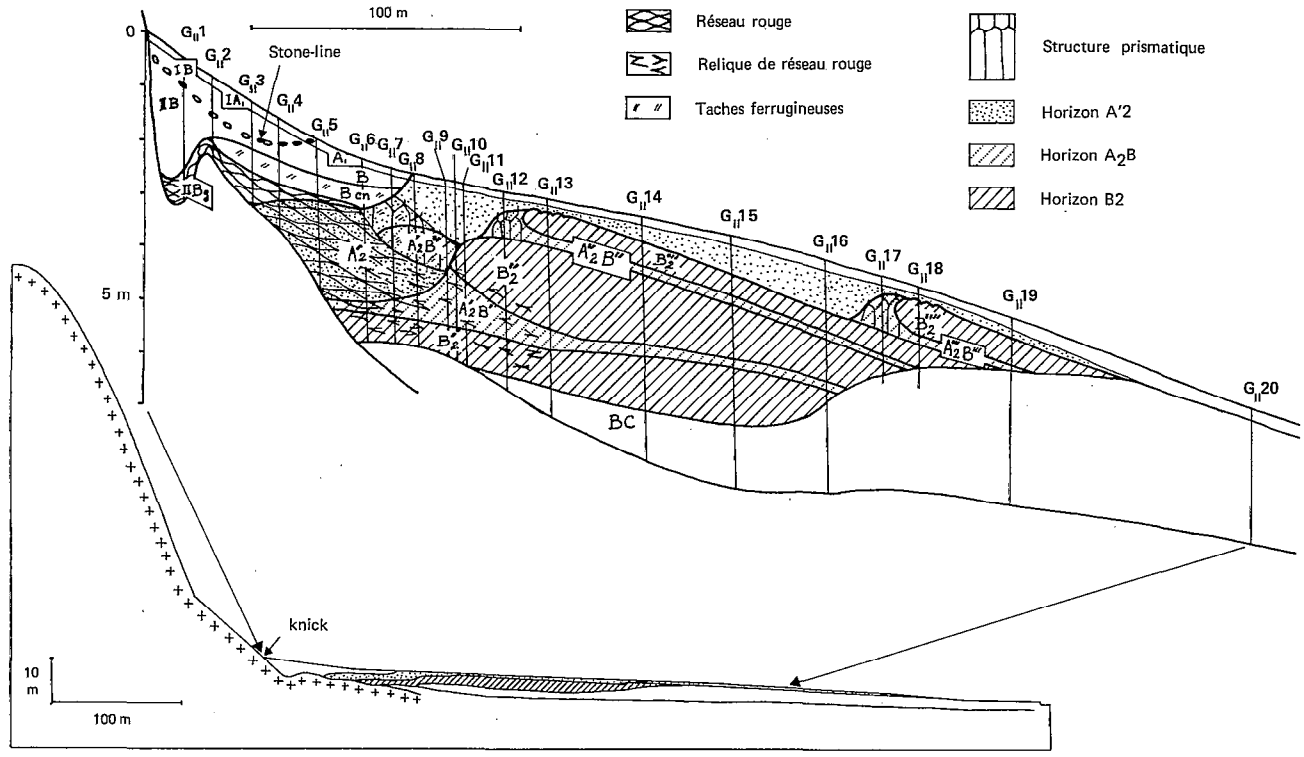


FIG. 26. — Coupe de la toposéquence de Garango II.

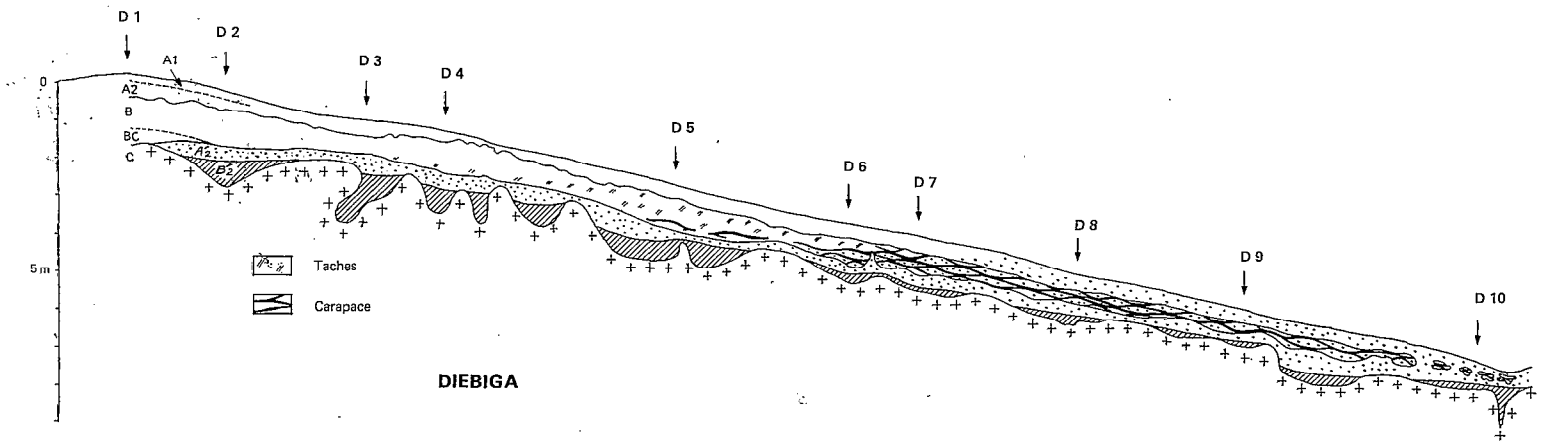


FIG. 17. — Diébiga, la toposéquence amont.

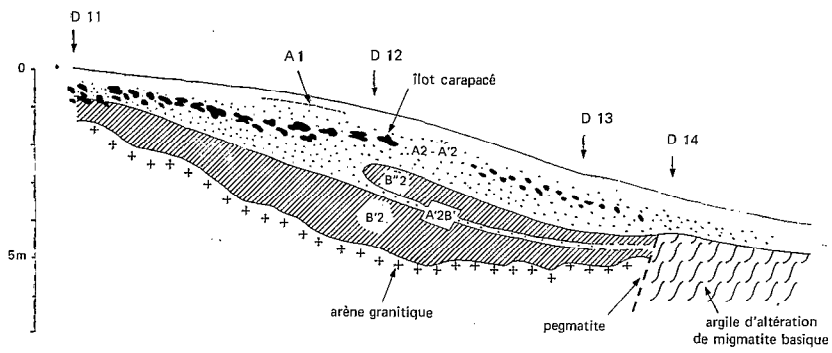


FIG. 18. — Diébiéga, la toposéquence aval.

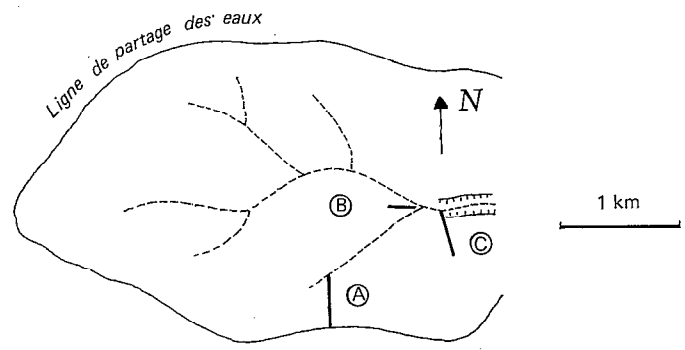


FIG. — 19. Plan de localisation des toposéquences dans le bassin versant.

Les Editions de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer tendent à constituer une documentation scientifique de base sur les zones intertropicales et méditerranéennes, les pays qui en font partie et sur les problèmes posés par leur développement.

CAHIERS ORSTOM *(séries périodiques)*

- **biologie :** études consacrées à diverses branches de la biologie végétale et animale : agronomie, biologie et amélioration des plantes utiles, entomologie agricole, nématologie.
- **entomologie médicale et parasitologie :** systématique et biologie des arthropodes d'intérêt médical et vétérinaire, parasitologie, épidémiologie des grandes endémies tropicales, méthodes de lutte contre les vecteurs et les nuisances.
- **géologie :** pétrologie et cycles des éléments (géochimie) - hydrogéologie - altération et érosion - sédimentologie - stratigraphie - orogenèse continentale - métallogenèse - paléogéographie - structure et évolution des fonds océaniques.
- **hydrologie :** études, méthodes d'observation et d'exploitation des données concernant les cours d'eau intertropicaux et leurs régimes.
- **océanographie :** hydrologie, physico-chimie, hydrodynamique, écologie, caractérisation des chaînes alimentaires, niveaux de production, dynamique des stocks, prospection faunistique (Sud-ouest Pacifique, Canal de Mozambique et environs, Atlantique Tropical Est).
- **hydrobiologie :** physico-chimie, écologie, caractérisation des chaînes alimentaires, dynamique des stocks, action des insecticides sur la faune (Bassin Tchadien, Côte d'Ivoire).
- **pédologie :** problèmes soulevés par l'étude des sols : morphologie, caractérisation physico-chimique et minéralogique, classification, relations entre sols et géomorphologie, problèmes liés aux sels, à l'eau, à l'érosion, à la fertilité.
- **sciences humaines :** études géographiques, sociologiques, économiques, démographiques et ethnologiques.

MÉMOIRES ORSTOM : consacrés aux études approfondies (synthèses régionales, thèses...) dans les diverses disciplines scientifiques (85 titres parus).

ANNALES HYDROLOGIQUES : depuis 1959, deux séries sont consacrées : l'une, aux Etats africains d'expression française et à Madagascar, l'autre aux Territoires et Départements français d'Outre-Mer.

FAUNE TROPICALE : collection d'ouvrages principalement de systématique, pouvant couvrir tous les domaines géographiques où l'ORSTOM exerce ses activités (19 titres parus).

INITIATIONS/DOCUMENTATIONS TECHNIQUES : mises au point et synthèses au niveau, soit de l'enseignement supérieur, soit d'une vulgarisation scientifiquement sûre (33 titres parus).

TRAVAUX ET DOCUMENTS DE L'ORSTOM : cette collection, diverse dans ses aspects et ses possibilités de diffusion, a été conçue pour s'adapter à des textes scientifiques ou techniques très variés quant à leur origine, leur nature, leur portée dans le temps ou l'espace, ou par leur degré de spécialisation (66 titres parus).

Les études en matière de géophysique (gravimétrie, sismologie, magnétisme...) sont publiées, ainsi que certaines données (magnétisme) dans des séries spéciales : **GÉOPHYSIQUE** et **OBSERVATIONS MAGNÉTIQUES.**

L'HOMME D'OUTRE-MER : cette collection, exclusivement consacrée aux sciences de l'homme, est réservée à des textes d'auteurs n'appartenant pas à l'ORSTOM, mais dont celui-ci assure la valeur scientifique (co-édition Berger-Levrault) (10 ouvrages parus).

De nombreuses **CARTES THÉMATIQUES,** accompagnées de **NOTICES,** sont éditées chaque année, intéressant des domaines scientifiques ou des régions géographiques très variées.

BULLETIN ANALYTIQUE D'ENTOMOLOGIE MÉDICALE ET VÉTÉRINAIRE (périodicité mensuelle ; ancienne dénomination jusqu'en 1970 : Bulletin signalétique d'entomologie médicale et vétérinaire) (XXIV^{e} année).

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE-MER

Direction générale
24, rue Bayard, 75008 PARIS

Service des Publications
70-74 route d'Aulnay, 93140 BONDY, FRANCE

O.R.S.T.O.M. Éditeur
Dépôt légal : 1er trimestre 1978
ISBN 2.7099.0448.9


a
b
c
d
e
f
g
h

C. sagittifolia (A. Rich.) Schweick. (fig. 104).

Herbe annuelle, en touffes diffuses ; chaumes grêles, dressés, parfois genouillés à la base, ayant de 10-40 cm de haut, glabres, à nœuds brun noirâtre, glabres. Feuilles pseudopétiolées, à limbes linéaires lancéolés, plans, sagittés à la base, ayant de 3-15 cm de long sur 5-15 mm de large, lobes de la base atteignant 20 mm de long, rarement plus ; parfois, sur certains pieds, quelques feuilles à limbes seulement arrondis à la base ou à lobes très petits, pseudopétiole subnul, très court ; habituellement, longueur du pseudopétiole variable, atteignant 10 cm ; ligule réduite à une courte membrane ciliolée.

Inflorescences paniculées, étroitement ovées, de 2-8 cm de long sur 0,8-2,5 cm de large, formées de nombreux racèmes spiciformes dorsiventraux, terminés par une pointe, sessiles, dressés puis étalés, solitaires ou rapprochés subverticillés, ceux de la base plus longs, atteignant 2 cm. Epillets solitaires, mutiques, cymbiformes, à carène arrondie sur le dos, de 2 mm de long environ, glabres, insérés sur de courts pédicelles, bisériés sur une face de l'axe du racème, assez densément groupés, facilement caduques, sous-tendus chacun par une soie grêle, scabérule, atteignant 10 mm de long ; glumes finement membraneuses, plus courtes que l'épillet, l'inférieure petite, n'atteignant pas la moitié de sa longueur, la supérieure plus grande, atteignant les 2/3 ; fleur inférieure ♂ aussi longue que l'épillet, à lemma membraneuse, déprimée sur le dos, arrondie et subapiculée au sommet ; fleur supérieure ♀, de même taille, à lemma cymbiforme, comprimée latéralement, coriace, finement striée transversalement.

C'est une plante de climat chaud et sec, que l'on trouve dans le domaine subaride du Sud. Elle affectionne les stations un peu ombragées mais sur des substrats divers : calcaires, sables, alluvions limoneuses où on la trouve à l'ombre des tamariniers. Elle peut être éventuellement une adventice des cultures sur alluvions dans les vallées du Mandrare et de la Menarandra.

SETARIA P. Beauv.

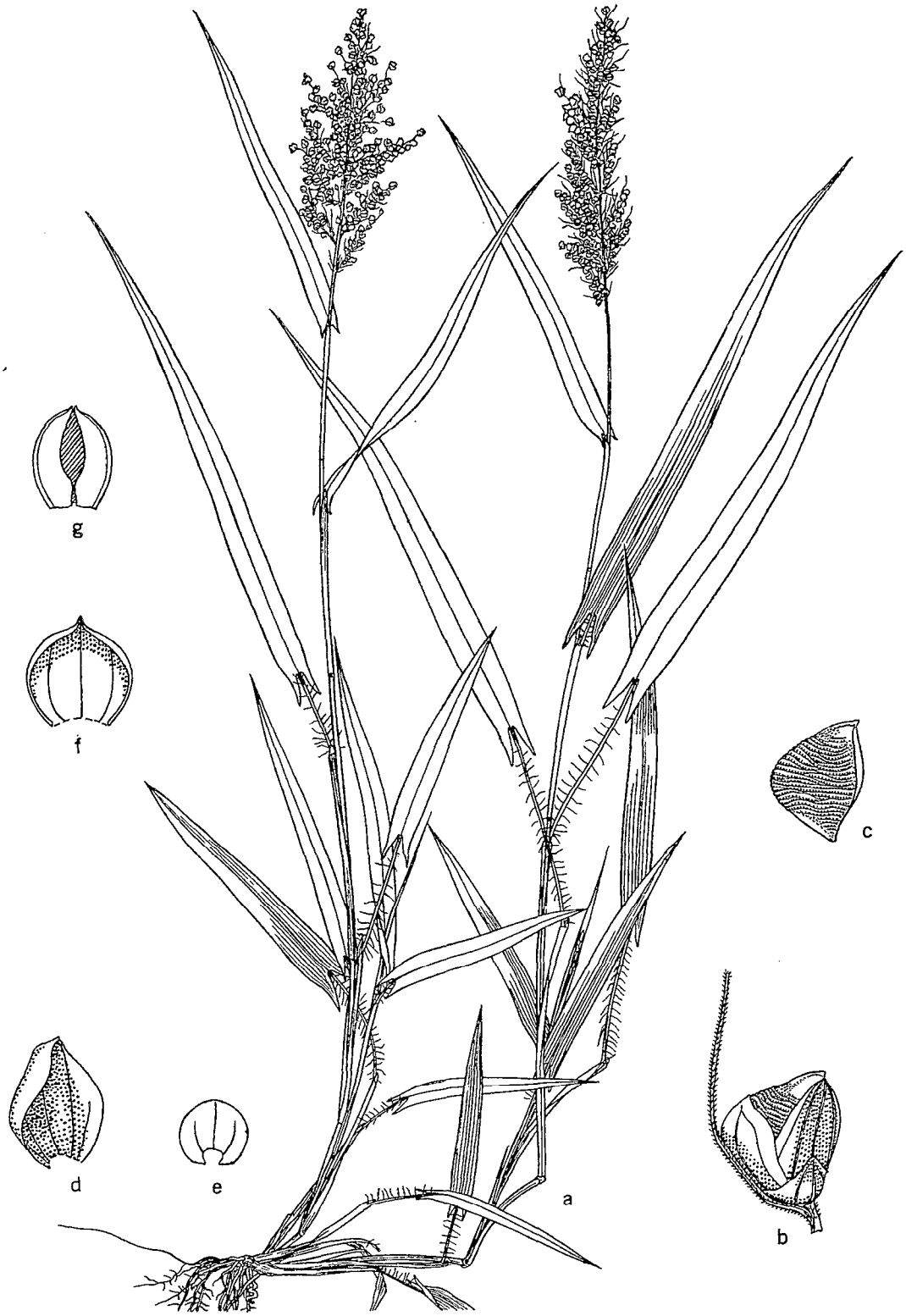
Grand genre comprenant de nombreuses espèces des régions chaudes du monde et quelques espèces des régions tempérées. Nous avons retenu 9 espèces communes ou assez communes à Madagascar.

Ce genre est caractérisé par des inflorescences souvent spiciformes, cylindriques avec les épillets groupés en glomérules et ayant chacun à leur base une ou plusieurs soies, ou en panicules parfois lâches, les épillets non fasciculés, tous ou seulement un certain nombre sous-tendus par une soie, parfois seul l'épillet terminal, en étant pourvu. Les épillets tombent toujours entiers sans la ou les soies.

CLÉ DES ESPÈCES

1. Inflorescences en faux épis cylindriques denses.
   2. Soies de l'involucre nettement plumeuses. 1. *S. Bathiei*

FIG. 103. — *Camusiella Vatkeana* (Schum.) Bosser : a, fragment de la base d'une plante ; b, inflorescence (longue de 7 - 30 cm) ; c, épillet, vue latérale (long de 3 - 3,5 mm) et soie ; d, glume supérieure (dos) ; e, fleur supérieure fertile, vue latérale. — *Setaria barbata* (Lamk.) Kunth. : e, fragment de la base d'une plante ; f, inflorescence (longue de 4 - 20 cm) ; g, épillet, vue latérale (long de 2,5 - 3 mm) ; h, fleur supérieure fertile, vue ventrale.


g
f
d
e
a
c
b

2. Soies de l'involucre non plumeuses.
3. Soies scabres rétrorses.

2. *S. verticillata*

3. Soies scabres antrorses.
4. Plantes annuelles. Epillets de 1,8-2,5 mm de long.

3. *S. pallide-fusca*

4. Plantes pérennes. Epillets de 2,5-3 mm.

4. *S. geniculata*

1. Inflorescences paniculées, lâches ou formées de racèmes grêles, simples ou divisés, échelonnés le long d'un axe commun.
5. Plantes à feuilles à limbes lancéolés ou linéaires lancéolés, plissés longitudinalement en éventail à l'état jeune, et demeurant ensuite plus ou moins sillonnés, longuement rétrécis sur la base.
6. Plante pérenne ; glumelles de la fleur supérieure de l'épillet lisses.

5. *S. Chevalieri*

6. Plante annuelle ; glumelles de la fleur supérieure de l'épillet fortement ridées transversalement.

6. *S. barbata*

5. Plantes à feuilles à limbes linéaires étroits, plans ou enroulés, jamais plissés.
7. Epillets de 2-2,5 mm de long ; glume inférieure atteignant les 2/3 de la longueur de l'épillet.

7. *S. Humbertiana*

7. Epillets ne dépassant pas 2 mm de long ; glume inférieure de 1/4 à 1/3 de la longueur de l'épillet.
8. Ligule représentée par un rebord de poils très courts (1/5-1/10 de mm) ; limbes foliaires glabres ou très lâchement pileux (Hauts Plateaux).

8. *S. Scottii*

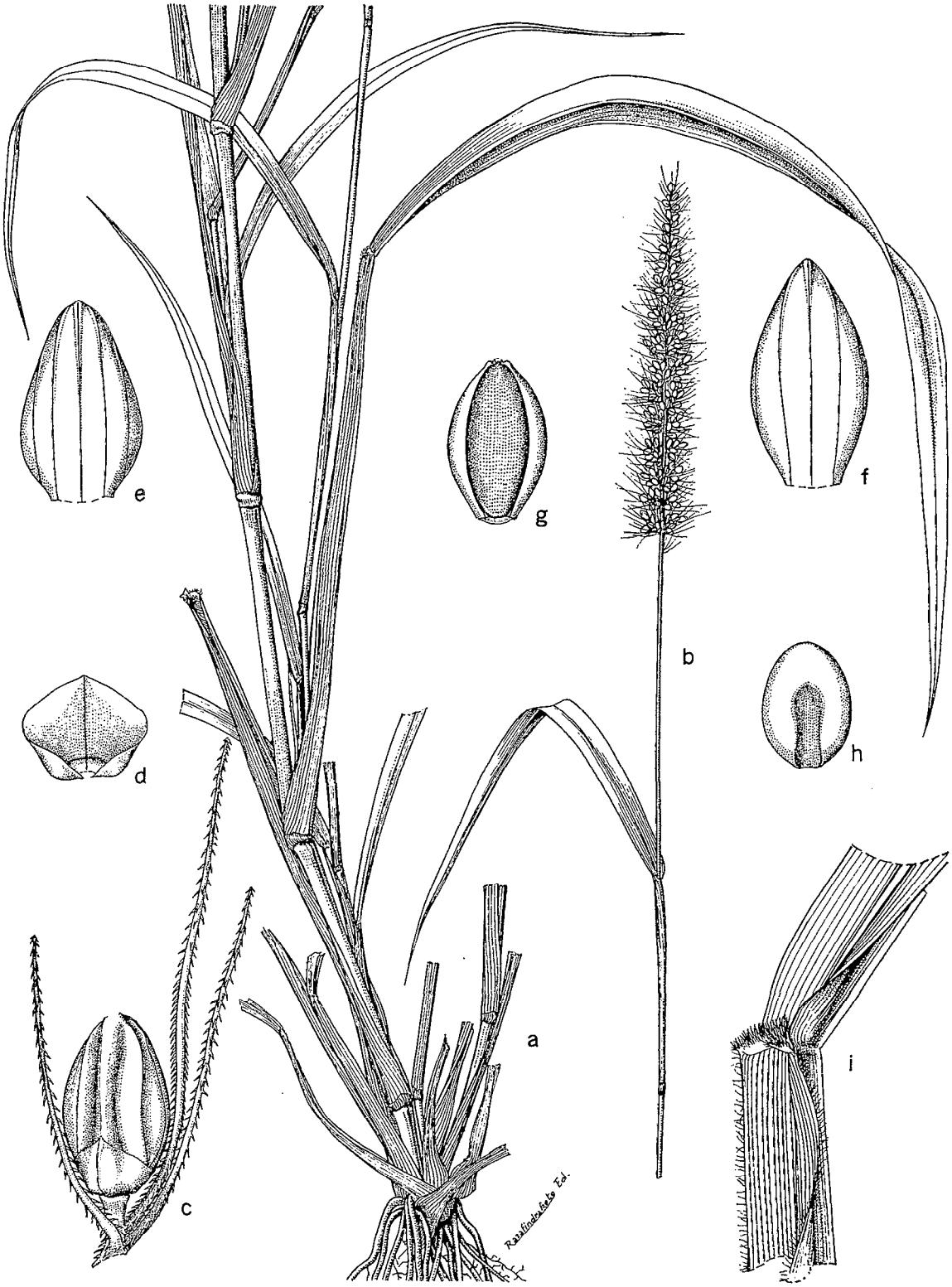
8. Ligule représentée par une ligne de poils plus longs (0,7-1 mm), limbes foliaires (au moins ceux de la base), densément pourvus de poils blancs fins et longs (Ouest).

9. *S. madecassa*

1. **S. Bathiei** A. Camus (fig. 148).

Herbe pérenne, rhizomateuse, en touffes fortement enracinées ; chaumes dressés, glabres, de grêles à moyennement robustes, ayant de 50-80 cm de long. Feuilles à limbes filiformes, cylindriques, canaliculés sur la face supérieure, de 10-45 cm de long sur 1-1,5 mm de diamètre, portant de longs poils à la base ; gaines des feuilles périphériques brunâtres, scarieuses ; ligule réduite à un court rebord ciliolé.

FIG. 104. — *Cymbosetaria sagittifolia* (A. Rich.) Schweick. : a, pied fleuri (haut de 10 - 40 cm) ; b, épillet, vue de trois quarts (long de 2 mm), et soie ; c, fleur supérieure fertile, vue latérale ; d, glume supérieure ; e, glume inférieure ; f, lemma de la fleur inférieure (face ventrale) ; g, paléa de la fleur inférieure.


a
b
c
d
e
f
g
h
i

Inflorescences terminales, longuement exsertes, en faux épis cylindriques, denses, barbelés, de 3-12 cm de long sur 3-5 mm de diamètre, vert pâle ou jaunâtres. Epillets elliptiques, de 2,5 mm de long, glabres, groupés par 2-4 en fascicules subsessiles, accompagnés de 5-7 soies, assez souvent plusieurs épillets sont avortés et plus petits ; soies de 3-7 mm de long, dépassant peu les épillets, munies de longs poils fins presque jusqu'au sommet ; glume inférieure largement ovée, suborbiculaire, de 1/3 à 1/2 de la longueur de l'épillet, 1-3-nervée, glume supérieure orbiculaire, largement arrondie au sommet, un peu plus grande, 3-nervée ; fleur inférieure réduite à la lemma, aussi longue que l'épillet, elliptique, 5-nervée ; fleur supérieure ♀, elliptique à oblongue, à glumelles coriaces, finement rugueuses, jaune pâle ou parfois un peu teintées de violacé au sommet.

Espèce endémique qui se distingue bien grâce à ses soies plumeuses. C'est une plante de stations très humides, marécageuses. Elle forme parfois de petits peuplements dans les bas-fonds. Jusqu'à présent, elle n'a été trouvée que dans la région d'Ambositra, Ambatofinandrahana, Fandriana. Elle doit exister assez régulièrement dans les bas-fonds marécageux de cette zone. Elle est sans intérêt en tant que fourrage et sans utilisation connue.

2. **S. verticillata** (Linn.) P. Beauv. (fig. 105).

Nom anglo-saxon : Burr bristle grass (Ile Maurice)

Herbe annuelle, en touffes diffuses ; chaumes de taille très variable, pouvant atteindre 1 m de haut, glabres, scabres rétrorses sous l'inflorescence, nœuds glabres, noirâtres. Feuilles à limbes plans, linéaires, un peu arrondis à la base, ayant de 5-30 cm de long sur 4-12 mm de large, pileux ; ligule représentée par une courte membrane tronquée, ciliée au sommet.

Inflorescences en faux épis cylindriques, denses, droits ou plus ou moins courbés, abondamment aristés, ayant de 3-10 cm de long sur 0,5-1 cm de large. Epillets ovés ou oblongs, de 1,7-2 mm de long, vert pâle, glabres, groupés en petits fascicules de quelques épillets, sous-tendus par des soies scabres rétrorses atteignant 7 mm de long ; glume inférieure finement membraneuse, atteignant la moitié de la longueur de l'épillet, 1-nervée, glume supérieure de la taille de l'épillet, à 7 nervures vertes un peu saillantes ; fleur inférieure stérile, à lemma assez semblable à la glume supérieure, 5-nervée ; fleur supérieure ♀, ovée, de la taille de l'épillet, à glumelles finalement crustacées et jaunes à maturité, très finement rugueuses transversalement.

Espèce répandue en Afrique et en Asie, que l'on retrouve aux îles Maurice, La Réunion, Comores, présente à Madagascar mais peu répandue. Elle a été récoltée dans les zones sèches et chaudes du Sud et de l'Ouest : basse vallée du Mandrare, environs d'Ankazoabo. C'est une rudérale, rencontrée aux bords des chemins, dans les jachères ; c'est aussi une mauvaise herbe des cultures sèches. Les épis voisins, venant en contact, s'accrochent par leurs soies, et s'agglomèrent souvent ensemble. C'est un bon fourrage à l'état jeune, mais il est peu productif.

$2n = 36$ (Avdulov), 18 (Krishnaswamy, Tateoka).

3. **S. pallide-fusca** (Schumach.) Stapf et Hubb. (fig. 106).

Noms malgaches : Tanandalitra, Taindalitra.

Herbe annuelle en touffes diffuses, très variable de taille : 15-60 cm de haut, certaines formes plus robustes pouvant atteindre 90 cm ; chaumes en général grêles, glabres simples ou ramifiés, dressés, parfois

FIG. 105. — *Setaria verticillata* (Linn.) P. Beauv. : a, fragment de la base d'une plante ; b, inflorescence (longue de 3 - 10 cm); c, épillet (long de 1,7 - 2 mm) entouré de ses soies ; d, glume inférieure ; e, glume supérieure ; f, lemma de la fleur inférieure ; g, fleur supérieure fertile (face ventrale) ; h, caryopse ; i, base d'un limbe et ligule.


a
b
c
d
e
f
g
h

genouillés à la base, nœuds glabres, brun noirâtre. Feuilles à limbes linéaires, plans, de 5-15 cm de long (parfois plus), glabres ou portant quelques longs poils près de la base, ou lâchement pileux sur la face supérieure.

Inflorescences en faux épis cylindriques denses, nettement exserts sur de longs pédoncules, roussâtres, ou jaunâtres, très variables de taille, 1,5-12 cm de long sur 4-5 mm de large, chaque épillet sous-tendu par un involucre de plusieurs soies (6-8 en général) droites et scabérules, ayant de 4-9 mm de long. Epillets ovés ou elliptiques, de 1,8-2,5 mm de long, glabres, le plus souvent solitaires ; glumes inégales, l'inférieure largement ovée, atteignant 1/2 de la longueur de l'épillet, 3-nervée ; glume supérieure ayant les 2/3 de la longueur de l'épillet, 5-nervée ; fleur inférieure ♂ ou vide, à lemma aussi longue que l'épillet, déprimée sur le dos, 7-nervée ; fleur supérieure ♀, de même taille, à glumelles coriaces, jaunes à maturité et ridées transversalement.

Espèce commune dans les régions tropicales, fréquente à Madagascar et répandue dans tous les domaines géographiques. C'est une rudérale qui occupe les bords des routes, les jachères et une adventice des cultures sèches. Elle peut s'introduire aussi dans les différents types de savanes herbeuses, sur les plages de sol nu, surtout au voisinage des lieux cultivés et habités. Cette espèce est variable d'aspect ; la longueur des arêtes est parfois très différente d'un échantillon à l'autre, ce qui affecte l'apparence de l'épi. L'inflorescence rappelle celle de *S. sphacelata*, mais cette dernière espèce est pérenne et plus robuste. Des formes plus élevées de *S. pallide-fusca*, atteignant 90 cm de haut se trouvent dans le Sud-Ouest sur les plateaux calcaires Mahafaly.

C'est une bonne plante fourragère, mais elle forme rarement, naturellement, des peuplements importants. En Afrique du Sud, elle est comprise dans un mélange nommé « Lands grass », composé d'espèces annuelles, qui, par semis naturels, constitue certaines prairies temporaires, qui sont fauchées, fanées ou ensilées.

$2n = 36$ (Moffett et Hurcombe), 18 (Krishnaswamy, Tateoka).

4. **S. geniculata** (Lamk.) P. Beauv.

Herbe pérenne, rhizomateuse, lâchement cespiteuse ; chaumes couchés à la base, puis genouillés ascendants, assez faibles, glabres, ramifiés aux nœuds, ayant de 0,50 à 1 m de long. Feuilles à limbes linéaires, de 5-25 cm de long sur 2-6 mm de large, plans ou enroulés, glabres ou assez souvent munis de longs poils fins, à la base, derrière la ligule ; ligule réduite à une ligne de poils denses, très courts.

Inflorescences en faux épis cylindriques, étroits, ayant de 3-12 cm de long sur 4-6 mm de large (sans y comprendre les arêtes) ; glomérules portés par des pédoncules courts, comprenant 1 épillet solitaire (parfois accompagné d'un autre épillet, avorté, plus petit), sous-tendu par 6-12 soies en général courtes, dépassant peu l'épillet, atteignant au plus 6 mm de long ; soies jaune orangé, parfois violacées. Epillets vert pâle ou teintés de violacé, elliptiques ou ovés aigus, glabres, de 2,5-3 mm de long ; glume inférieure dépassant un peu la 1/2 de la longueur de l'épillet, 3-nervée, glume supérieure, atteignant les 2/3 de l'épillet, 5-nervée ; fleur inférieure ♂ ou vide, aussi longue que l'épillet, lemma déprimée dans sa partie médiane, 5-nervée ; fleur supérieure ♀, de même taille que la précédente, à glumelles crustacées, ridées transversalement.

FIG. 106. — *Setaria pallide-fusca* (Schumach.) Stapf et Hubb. : a, fragment d'une souche ; b, inflorescence (longue de 1,5 - 12 cm) ; c, épillet, dos (long de 2,5 mm) et involucre de soies ; d, épillet (profil). — *Setaria Chevalieri* Stapf ex Stapf et Hubb. : e, fragment d'une souche ; f, inflorescence (longue de 20 - 40 cm) ; g, épillet, profil (long de 2,5 - 3 mm) ; h, fleur fertile (face ventrale).

Espèce assez commune sur les plateaux, entre 800 et 1 800 m d'altitude ; moins fréquente à plus basse altitude dans l'Est humide et chaud. C'est une plante de stations humides et fraîches : alluvions limono-sableuses, colluvions sableuses, bas-fonds temporairement inondés. Dans la région forestière à hygrométrie plus forte et plus constante, elle occupe aussi des pentes mieux drainées sur sols ferrallitiques dégradés. On peut ainsi la trouver isolée, dans la savane à *Aristida similis* dans l'Est et la végétation secondaire à *Philippia* dans la partie Est des plateaux.

Par son épillet et son inflorescence, elle a quelque analogie avec *S. pallide-fusca* avec laquelle on peut la confondre. Elle se distingue par le port, la présence de rhizomes ; l'épi est souvent plus long, plus grêle. C'est une bonne plante fourragère, peu productive.

5. **S. Chevalieri** Stapf ex Stapf et Hubb. (fig. 106).

Nom malgache : Tsikasakasa.

Grande herbe pérenne, cespiteuse ; chaumes dressés, parfois genouillés et radicants à la base, glabres, ayant de 1-1,80 m de haut (parfois plus). Feuilles à grands limbes linéaires ou linéaires lancéolés, de 20-60 cm de long sur 1-6 cm (rarement plus) de large, aigus au sommet, longuement rétrécis sur la base et semblant pseudopétiolés, pliés en éventail à l'état jeune et demeurant ensuite plus ou moins sillonnés ; ligule représentée par une ligne dense de poils courts.

Inflorescences en panicules grandes et lâches, assez étroites, plus ou moins penchées et arquées, ayant le plus souvent 20-40 cm de long, parfois plus petites ou beaucoup plus grandes ; ramifications de la base, solitaires et assez distantes, de longueur très variable, le plus souvent 5-15 cm, subsessiles, elles-mêmes divisées, les divisions ultimes étant des racèmes courts à axes grêles ; ramifications supérieures plus courtes, solitaires ou rapprochées subverticillées. Epillets solitaires ou géminés, brièvement pédicellés, lancéolés ou elliptiques aigus, de 2,5-3 mm de long, glabres, verts ou plus ou moins tachés de pourpre, sous-tendus pour la plupart par une arête grêle, de longueur variable (au plus 2 cm) ; glume inférieure ayant de 1/3 à 1/2 de la longueur de l'épillet, ou un peu plus, 3-5-nervée ; glume supérieure, assez semblable, un peu plus longue, atteignant les 2/3 de la longueur de l'épillet, 5-nervée ; fleur inférieure vide, lemma de la taille de l'épillet, 5-nervée ; fleur supérieure ♀, aussi longue, à glumelles épaissies, coriaces, lisses.

Espèce commune en Afrique, fréquente aussi à Madagascar dans toute la zone humide de la forêt de l'Est et sur les plateaux. C'est une plante de stations ombragées, en lisières forestières, qui s'est adaptée à des conditions rudérales : bords de routes, abords de villages, et qui peut aussi être adventice dans les cultures sur défrichements de forêt (tavy). Elle est abondante sur certaines jachères.

Les épillets sont souvent attaqués par un charbon.

$2n = 54$ (Moffett et Hurcombe).

6. **S. barbata** (Lamk.) Kunth (fig. 103).

Noms communs : Herbe bambou, Herbe aux ânes (Ile Maurice) Trainasse (La Réunion).

Herbe annuelle, en touffes diffuses ; chaumes grêles, couchés à la base et genouillés ascendants, glabres ou pubescents sous les nœuds, ayant de 15 cm à 1 m de long, nœuds eux-mêmes pubescents. Feuilles à limbes de 3-20 cm de long sur 5-25 mm de large, lancéolés ou linéaires lancéolés, rétrécis au sommet en une pointe fine, et, sur la base, simulant parfois un faux pétiole, pliés transversalement en éventail quand ils sont jeunes, et gardant plus ou moins trace de ces plis, le plus souvent lâchement pileux sur les deux faces, marges souvent ondulées ; ligule représentée par une membrane tronquée, ciliée au sommet.

Inflorescences paniculées, pyramidales ou étroites et linéaires, souvent denses, atteignant 4-20 cm de long sur 1-5 cm de large ; ramifications solitaires ou rapprochées subverticillées, en général assez trapues,

sessiles et denses, celles de la base atteignant 1-3 cm de long (parfois plus), elles-mêmes divisées, chaque division étant un racème dorsiventral. Epillets ovés ou elliptiques aigus, de 2,5-3 mm de long, turgides, glabres, vert pâle ou tâchés de rose violacé, portés sur des pédicelles courts et pour la plupart sous-tendus par une arête grêle, flexueuse, parfois courte et dépassant peu l'épillet, mais pouvant atteindre 15 mm de long ; glume inférieure de 1/4 à 1/3 de la longueur de l'épillet, largement arrondie au sommet, 3-5-nervée ; glume supérieure atteignant les 2/3 de la longueur de l'épillet, ovée, à 5-7-nervures vertes ; fleur inférieure ♂ ou vide, à lemma aussi longue que l'épillet, déprimée dans sa partie médiane, 7-nervée ; fleur supérieure ♀, de même taille que la première, ovée ou elliptique, aiguë au sommet, à glumelles coriaces, ridées transversalement.

Espèce commune en Afrique de l'Ouest, ainsi qu'à La Réunion et île Maurice, où elle est une mauvaise herbe de la culture de la canne à sucre ; introduite en Amérique, en Asie. Son apparition à Madagascar est sans doute assez récente. Elle se cantonne actuellement dans la partie Nord-Ouest : Diego-Suarez, le Sambirano, Nosy-Bé. C'est une plante de climat chaud, à pluviosité forte, humidité constante. Elle ne semble toutefois pas être présente dans la partie Est de Madagascar, où pourtant le climat lui conviendrait. C'est une rudérale et une mauvaise herbe des cultures sèches, préférant une ombre légère.

7. **S. Humbertiana** A. Camus (fig. 107).

Herbe pérenne, cespiteuse, en touffes denses, fortement enracinées, à racines fibreuses ; chaumes dressés, moyennement robustes, ayant de 40-60 cm de haut, glabres ou un peu pubescents sous les nœuds. Feuilles de la base à gaines persistantes et densément pileuses dans leur partie inférieure, les caulinaires à gaines glabres ou seulement lâchement pileuses ; limbes linéaires, de 10-20 cm de long sur 2-5 mm de large, plans ou enroulés, glabres ou, plus souvent, à base portant de longs poils fins tuberculés au pied ; ligule réduite à un court rebord cilié.

Inflorescences paniculées, grêles, ayant de 7-20 cm de long, formées de racèmes dorsiventraux sessiles, obliquement dressés, solitaires et lâchement groupés, échelonnés sur un axe commun ; racèmes de la base nettement distants entre eux, plus longs et atteignant 3 cm. Epillets bisériés sur un côté de l'axe, solitaires subsessiles ou géminés à la base des racèmes, l'un à pédicelle assez long, 1-1,5 mm ; certains épillets sous-tendus par une soie grêle pouvant atteindre 8 mm de long, souvent plus courte ; épillets ovés ou elliptiques, de 2-2,5 mm de long, vert pâle à jaune pâle ; glume inférieure atteignant les 2/3 de la longueur de l'épillet, ovée, obtuse au sommet, 3-5-nervée ; glume supérieure plus longue, atteignant les 3/4 de la longueur de l'épillet, largement ovée arrondie au sommet, 5-nervée ; fleur inférieure ♂ ou vide, lemma aussi longue que l'épillet, 5-nervée ; fleur supérieure ♀, elliptique, aiguë au sommet, à glumelles indurées, finalement coriaces, lisses.

Espèce endémique, de la zone subaride du Sud, assez commune d'Ambovombe à Tuléar. Ses exigences écologiques sont lâches, on la rencontre sur sables dunaires en bord de mer, où elle profite de rosées nocturnes fréquentes, ou, plus à l'intérieur, sur des calcaires squelettiques très secs. C'est, à l'origine, une plante des fourrés xérophiles à Didiéracées et à Euphorbes, qui persiste dans ces formations dégradées, parcourues par les troupeaux. On la trouve sous forme de pieds isolés ou de petits peuplements. Elle est sans intérêt en tant que fourrage.

8. **S. Scottii** (Hack.) A. Camus (fig. 102).

Herbe pérenne, à rhizome court, formant des touffes grêles ; chaumes genouillés à la base, s'appuyant souvent sur les plantes voisines, ayant de 25-60 cm de long, glabres, simples ou ramifiés aux nœuds, chaque ramification terminée par une inflorescence. Feuilles à limbes linéaires, plans ou filiformes enroulés, ayant de 8-30 cm de long sur 1-4 mm de large, glabres ou parsemés lâchement de longs poils fins ; ligule réduite à un rebord de poils très courts, denses.


h
g
f
e
a
b
d
c

Inflorescences paniculées, grêles, étroites et spiciformes, de 2,5-10 cm de long, formées de racèmes dorsiventraux, grêles, solitaires, échelonnés le long d'un axe commun, appliqués contre lui ou obliquement dressés, les plus longs, à la base, atteignant 3 cm. Epillets assez lâchement disposés, solitaires, brièvement pédicellés, parfois geminés à la base des racèmes et alors l'un pédicellé (pédicelle de 2 mm environ), les terminaux sous-tendus par une soie ayant de 2-5 mm de long, parfois plus courte que l'épillet ; épillets ovés aigus, de 2 mm de long, glabres, vert pâle ou plus ou moins teintés de pourpre ; glume inférieure largement ovée, atteignant 1/4 à 1/3 de la longueur de l'épillet, nervation peu nette ; glume supérieure arrondie au sommet, atteignant les 2/3 de la longueur de l'épillet, 5-nervée ; fleur inférieure ♂ ou neutre, lemma de la taille de l'épillet, déprimée en son centre, 5-nervée ; fleur supérieure, ♀, aussi longue que la précédente, à glumelles coriaces, finement ponctuée, rugueuse.

Espèce endémique, localisée sur les plateaux où elle est assez commune. Elle fait partie des savanes dégradées à *Aristida rufescens* sur pentes sèches, à sols ferrallitiques, sur gneiss, granites, basaltes. Elle existe aussi dans la végétation secondaire (savoka) à *Philippia*, et dans les jachères. Elle disparaît devant les feux répétés.

A l'opposé, on la trouve aussi fréquemment sur des colluvions de bas de pentes, assez humides et en bordure de marais, sur des sols hydromorphes temporairement inondés. Elle ne forme pas de peuplement et n'a que peu d'intérêt en tant que fourrage.

9. **S. madecassa** A. Camus (fig. 136).

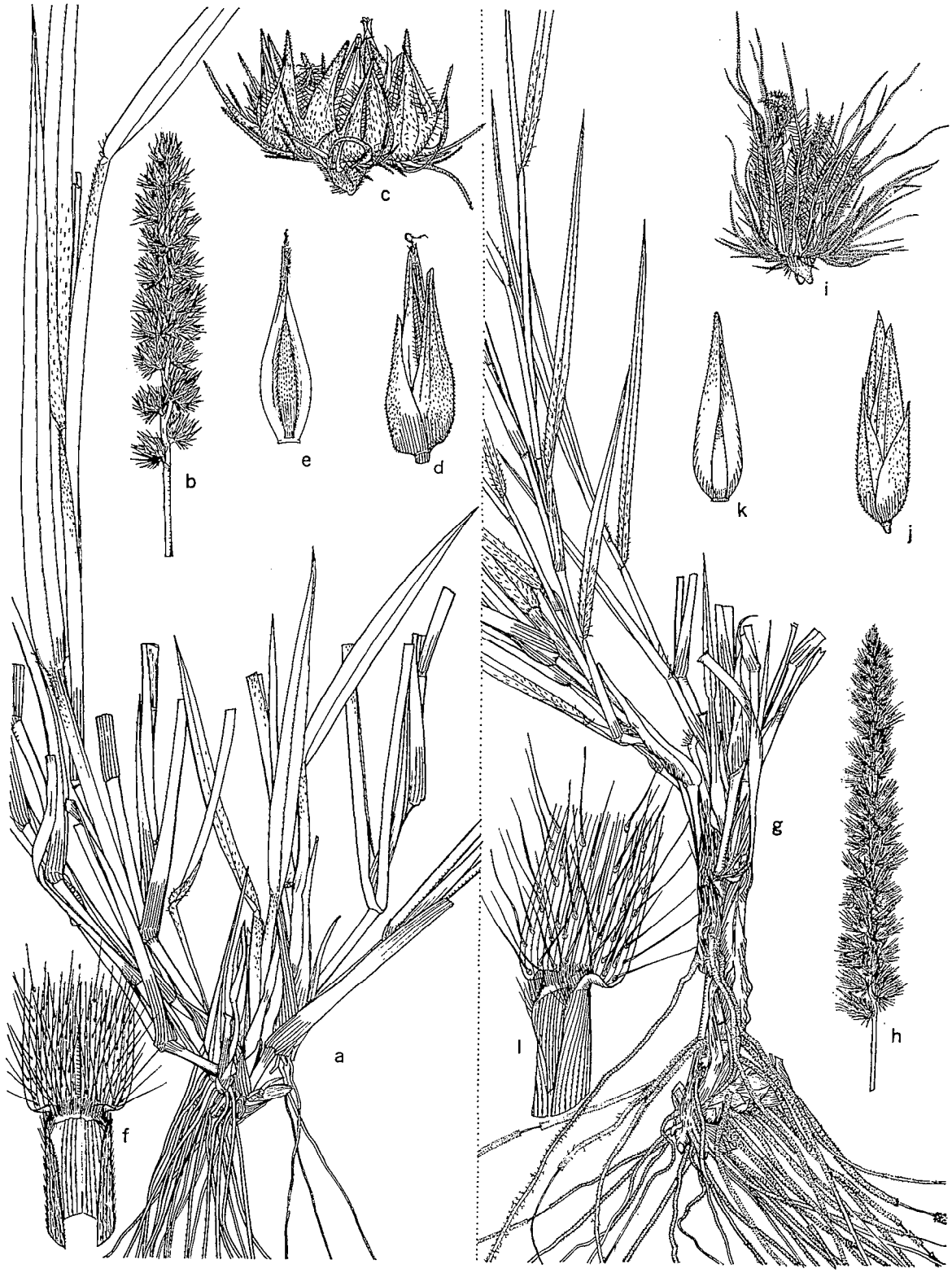
Herbe annuelle, cespiteuse ; chaumes grêles, atteignant 40-70 cm de haut, genouillés à la base, glabres, simples ou ramifiés aux nœuds supérieurs, chaque ramification terminée par une inflorescence. Feuilles à limbes linéaires, plans, de 6-20 cm de long sur 2-6 mm de large, hirsutes (poils longs, blanchâtres, denses) ; ligule représentée par une ligne de poils denses.

Inflorescences paniculées, grêles, étroites, ayant de 5-15 cm de long, formées de racèmes dorsiventraux, de 1,5-2,5 cm de long, solitaires, échelonnés le long d'un axe commun, obliquement dressés ou peu étalés. Epillets ovés ou elliptiques, de 2 mm de long environ, glabres, vert clair ou plus ou moins tachés de rose ou de violacé, insérés isolément, bisériés sur une face de l'axe des racèmes, brièvement pédicellés, presque tous sous-tendus par une soie fine, sinueuse, de 5-12 mm de long ; glume inférieure de l'épillet atteignant 1/4 à 1/3 de la longueur de l'épillet, 3-nervée ; glume supérieure plus longue et atteignant les 3/4 de la longueur de l'épillet, 5-nervée ; fleur inférieure ♂, lemma aussi longue que l'épillet, déprimée sur le dos, 5-nervée ; fleur supérieure ♀, un peu plus courte que la précédente, à glumelles crustacées, ridées transversalement.

Espèce endémique, peu commune, du domaine subhumide de l'Ouest. Elle fait partie de certaines savanes à *Heteropogon contortus*, ou *Trachypogon spicatus* sur des sols ferrugineux tropicaux sableux ou des sols squelettiques sur substrat gréseux.

C'est un bon fourrage, recherché par les animaux qui le broutent ras, mais la plante est trop sporadique et peu productive. Son port rappelle beaucoup celui de *S. Scottii* avec lequel cette espèce a des affinités.

FIG. 107. — *Setaria Humbertiana* A. Camus : a, fragment de la base d'une plante ; b, inflorescence (longue de 7 - 20 cm) ; c, épillet, vue latérale (long de 2 - 2,5 mm) ; d, fleur supérieure fertile, vue ventrale ; e, lemma de la fleur inférieure ; f, paléa de la fleur inférieure ; g, glume supérieure ; h, glume inférieure.


a
b
c
d
e
f
g
h
i
j
k
l

Espèces introduites et cultivées.

Setaria sphacelata (Schumach.) Stapf et Hubb.

Herbe pérenne, cespiteuse, avec ou sans rhizome, stolonifère. Feuilles de la base à gaines comprimées parfois flabellées, chaumes atteignant 0,60 à 1,80 m de haut. Inflorescences en faux épis cylindriques, denses, de 10-35 cm de long ; épillets de 2,3-3,5 mm de long, solitaires ou en glomérules de 2-3, chaque glomérule sous-tendu par 6-10 soies grêles, de longueur variable, jaune orange ou brun jaune.

En réalité, *S. sphacelata* est un complexe polymorphe, où on peut distinguer des formes assez diverses ; certains en font même des sous-espèces, voire des espèces. C'est un excellent fourrage, très utilisé en Afrique du Sud, pour le pâturage, ou coupé et fané. Il réussit bien sur les plateaux de Madagascar.

S. splendida Stapf

C'est une herbe assez proche de *S. sphacelata* mais plus robuste, et pouvant dépasser 3 m de haut en bonnes conditions. C'est aussi une bonne plante fourragère qui a été essayée dans diverses stations agronomiques.

CENCHRUS Linn.

Genre surtout américain, mais de vaste répartition, ayant des représentants dans les diverses régions tropicales du monde. Trois espèces sont communes ou assez communes à Madagascar.

Ce genre est caractérisé par ses inflorescences en épis cylindriques, et ses épillets, solitaires, géminés ou fasciculés, contenus dans des involucres formés de soies ou d'arêtes épineuses, soudés à leur base, tombant entiers à maturité.

CLÉ DES ESPÈCES

1. Involucres formés de soies grêles, non piquantes, l'une nettement plus longue que les autres.
   1. *C. ciliaris*
1. Involucres formés d'aiguillons rigides et piquants, aiguillons internes peu inégaux.
   2. Aiguillons soudés sur une grande partie de leur longueur parfois jusqu'au 1/3 ou à la 1/2, et formant une cupule profonde.
      2. *C. echinatus*
   2. Aiguillons soudés seulement à leur base, cupule aplatie.
      3. *C. biflorus*

FIG. 108. — *Cenchrus echinatus* Linn. : a, base de la plante ; b, inflorescence (longue de 3 - 10 cm) ; c, un involucre (haut de 5 - 7 mm) ; d, un épillet, vue latérale (long de 4,5 - 6,5 mm) ; e, fleur supérieure fertile (face ventrale) ; f, base d'un limbe et ligule. — *Cenchrus ciliaris* Linn. : g, fragment de la base d'une plante ; h, inflorescence (longue de 3 - 15 cm) ; i, involucre (soie le plus longue atteignant 15 mm) ; j, épillet, vue latérale (long de 3,5 - 5 mm) ; k, fleur supérieure fertile, face ventrale ; l, base d'un limbe et ligule.

1. **C. ciliaris** Linn. (fig. 108).

Noms malgaches : Trongatse, Ahitranga, Ahitokotoko.

Herbe pérenne, cespiteuse, à rhizome court et ligneux ; chaumes genouillés ascendants, de grêles à moyennement robustes, souvent ligneux à la base, atteignant 30-90 cm de haut (jusqu'à 1,20 m en bonnes conditions), ramifiés, glabres, un peu scabres et rudes au toucher sous les inflorescences. Feuilles à limbes linéaires, plans, ayant de 5-25 cm de long (rarement plus) sur 3-8 mm de large, à face supérieure le plus souvent pileuse ; ligule réduite à un court rebord membraneux, ciliolé au sommet.

Inflorescences en faux épis terminaux, denses ou plus ou moins lâches, parfois assez grêles, d'aspect hirsute, jaunâtres, brunâtres ou parfois violacés, variables de taille et ayant de 3-15 cm de long (le plus souvent 6-10 cm) sur 1-1,5 cm de diamètre. Involucres subsessiles, à soies nombreuses et grêles, les soies internes élargies et aplaties à la base, scabérules au sommet, ciliées sur les bords dans leur partie inférieure, l'une nettement plus longue et atteignant 15 mm ; soies externes grêles, scabérules, nettement plus courtes, étalées. Les soies sont soudées à leur base en une cupule peu nette, l'espèce peut parfois être confondue avec un *Pennisetum*. Epillets inclus dans l'involucre, solitaires ou par 2 ou 3, sessiles, lancéolés, glabres ou un peu pileux, atteignant 3,5-5 mm de long ; glumes finement membraneuses, ovées aiguës, l'inférieure atteignant la 1/2 de la longueur de l'épillet, 1-nervée, la supérieure un peu plus longue, atteignant les 2/3 de la longueur de l'épillet, 3-nervée ; fleur inférieure ♂ ou vide, de la longueur de l'épillet, lemma membraneuse un peu tronquée au sommet, 5-7-nervée ; fleur supérieure ♀, de même taille que la précédente, à glumelles finement coriaces, lisses.

Herbe de climat et de stations secs, fréquente dans le Sud subaride de Madagascar. Elle est également répandue en Afrique et en Asie (Indes) et a été introduite en Amérique et en Australie. Elle est connue sous le nom anglo-saxon de Buffel-grass.

C'est une plante peu exigeante, assez indifférente au type de sol. Elle forme des peuplements importants sur sables dunaires stabilisés dans la plaine côtière de Lavanono (Sud) et en arrière du Cap Ste-Marie, mais elle peut aussi bien se trouver sur calcaires squelettiques très secs. C'est une excellente plante fourragère, qui donne un bon foin et peut servir aussi à faire des pelouses.

Il existe des variétés améliorées et sélectionnées qui pourraient être utilisées pour établir des pâturages temporaires de grande valeur, dans les régions subhumides de l'Ouest, sur des sols pas trop dégradés, bien drainés et suffisamment pourvus en eau : colluvions de bas de pentes, alluvions de certaines vallées.

$2n = 32$ à 78 (variable suivant les auteurs).

2. **C. echinatus** Linn. (fig. 108).

Nom commun : Herbe à Cateaux (Ile Maurice), Herbe pagode (La Réunion).

Nom anglo-saxon : Coastal burr grass.

Herbe annuelle, cespiteuse ; chaumes parfois couchés à la base, puis genouillés ascendants, ramifiés aux nœuds, glabres, un peu scabres et rudes au toucher sous les inflorescences, atteignant 25-60 cm de long. Feuilles à gaines comprimées carénées, limbes linéaires, de 5-25 cm de long sur 3-10 mm de large, un peu arrondis à la base, plans, pileux sur la face supérieure ; ligule représentée par un court rebord cilié.

Inflorescences en faux épis terminaux à base incluse dans la gaine de la dernière feuille ou finalement exserte, ayant de 3-10 cm de long sur 10-14 mm de diamètre. Involucres subsessiles, gros, souvent plus larges que hauts, de 5-7 mm de haut sur 5-8 mm de large. Aiguillons rigides, vulnérants, soudés jusqu'à la moitié (ou parfois plus) de leur longueur en une cupule profonde ; aiguillons internes très larges et plats, relativement courts, à pointe finement scabre rétrorse, base ciliée sur les bords et pubescente sur le dos,

sillonnée d'une ou deux dépressions vertes peu profondes ; aiguillons externes plus grêles et plus courts, généralement dressés, finement scabres rétrorses. Epillets sessiles groupés par 2-6 dans un involucre, ovés aigus, de 4,5-6,5 mm de long ; glume inférieure atteignant la moitié de la longueur de l'épillet, plus souvent plus courte, 0-1-nervée ; glume supérieure atteignant les 3/4 de la longueur de l'épillet, 5-nervée ; fleur inférieure en général vide, lemma semblable à la glume supérieure, un peu plus longue ; fleur supérieure ♀, de la taille de l'épillet, à glumelles finement coriaces, lisses.

Espèce d'origine américaine répandue sous les tropiques. C'est une plante de bord de mer, croissant sur les sables dunaires, ne formant jamais des peuplements importants. On la trouve sporadiquement à Madagascar le long des côtes. Dans le Sud (Ambovombe), c'est une mauvaise herbe occasionnelle des cultures sur sable. Elle est fréquente dans les îles Maurice et La Réunion.

$2n = 34$ (Avdulov.), 70 (Gould).

3. **C. biflorus** Roxb. (fig. 109).

Herbe annuelle, en touffes diffuses ; chaumes genouillés à la base, ramifiés aux nœuds inférieurs, glabres, ayant de 25-80 cm de haut. Feuilles d'un vert un peu glauque, à gaines un peu comprimées carénées, limbes linéaires, plans ou enroulés, de 5-20 cm de long sur 3-6 mm de large, glabres ou plus ou moins pileux sur la face supérieure ; ligule réduite à un court rebord ciliolé.

Inflorescences en faux épis terminaux exserts, de 5-15 cm de long sur 8-12 mm de diamètre, denses et hérissés d'aiguillons. Involucres subsessiles, à aiguillons nombreux, rigides, pointus et vulnérants, soudés à leur base en une cupule aplatie, les internes dressés, élargis inférieurement, de 4-7 mm de long, scabres rétrorses au sommet, ciliés à la base, creusés sur leur face externe de 1-2 sillons verts, les externes plus grêles et plus courts, étalés et parfois réfléchis. Epillets solitaires ou géminés (plus rarement par trois) dans un involucre, sessiles, ovés lancéolés, de 4-6 mm de long ; glumes finement membraneuses, glabres, l'inférieure plus courte, atteignant la 1/2 ou les 2/3 de la longueur de l'épillet, 1-3-nervée, la supérieure 3-5-nervée ; fleur inférieure souvent réduite à une lemma, semblable à la glume supérieure et légèrement plus courte que l'épillet ; fleur supérieure ♀, de la longueur de l'épillet, à glumelles finement coriaces, glabres et lisses.

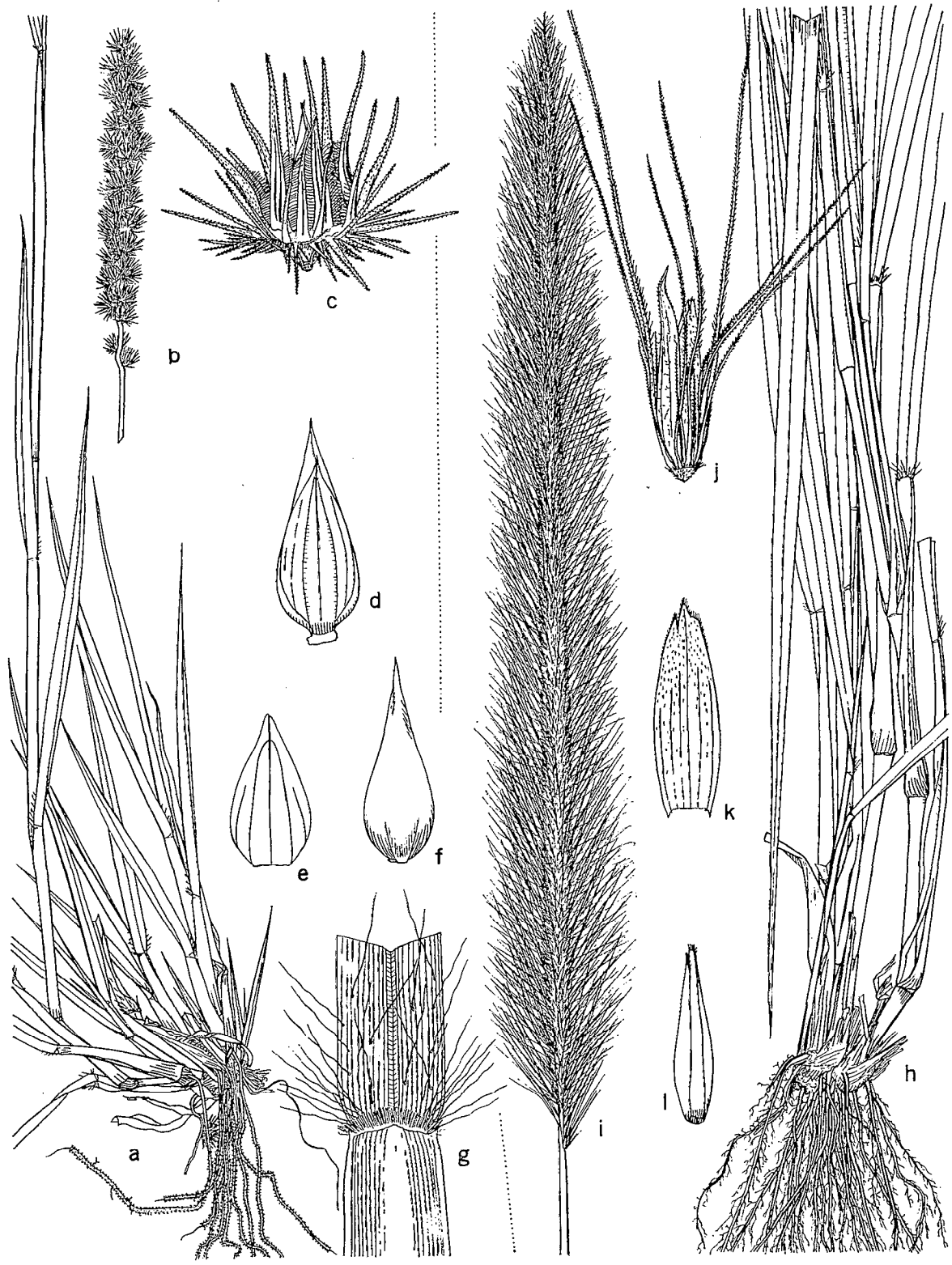
Espèce africaine, d'introduction sans doute assez récente (récoltée pour la première fois en 1922). Elle existe sporadiquement dans l'Ouest de Majunga à Tuléar. C'est une plante de station sèche, en général sableuse, des bords de chemins ou des jachères, ou adventice dans les cultures où elle est une mauvaise herbe gênante à cause des aiguillons vulnérants des involucres. N'était cet inconvénient, elle donne un bon fourrage au stade jeune, avant floraison.

$2n = 34$ (Delisle).

PENNISETUM Rich.

Genre comptant de très nombreuses espèces en régions tropicales. Certaines sont bonnes fourragères et d'autres sont cultivées comme céréales (mils). Quatre espèces se rencontrent à Madagascar à l'état sauvage, trois autres, introduites et cultivées, ont une certaine importance.

Proche du genre *Cenchrus*, mais les soies de l'involucre sont libres et ne forment pas de cupule par soudure de leurs bases.


a
b
c
d
e
f
g
h
i
j
k
l

CLÉ DES ESPÈCES

1. Epi grêle, lâche, étroit (ne dépassant pas 8 mm de diamètre) ; épillets de 7-9 mm de long.
1. *P. pseudotriticoïdes*

1. Epis cylindriques, hirsutes. de 1 cm de diamètre au moins, en général denses. Epillets ne dépassant pas 5 mm de long.

2. Soies internes de l'involucre seulement scabres (rarement avec quelques poils peu denses à la base).
2. *P. atrichum*

2. Soies internes de l'involucre densément pileuses à leur base, poils fins, cotonneux, entremêlés.

3. Epillets sessiles dans l'involucre.
3. *P. polystachyon*

3. Epillets pédicellés dans l'involucre.
4. *P. pedicellatum*

1. **P. pseudotriticoïdes** A. Camus (fig. 110).

Nom malgache : Horompotsy, Tohiambazaha.

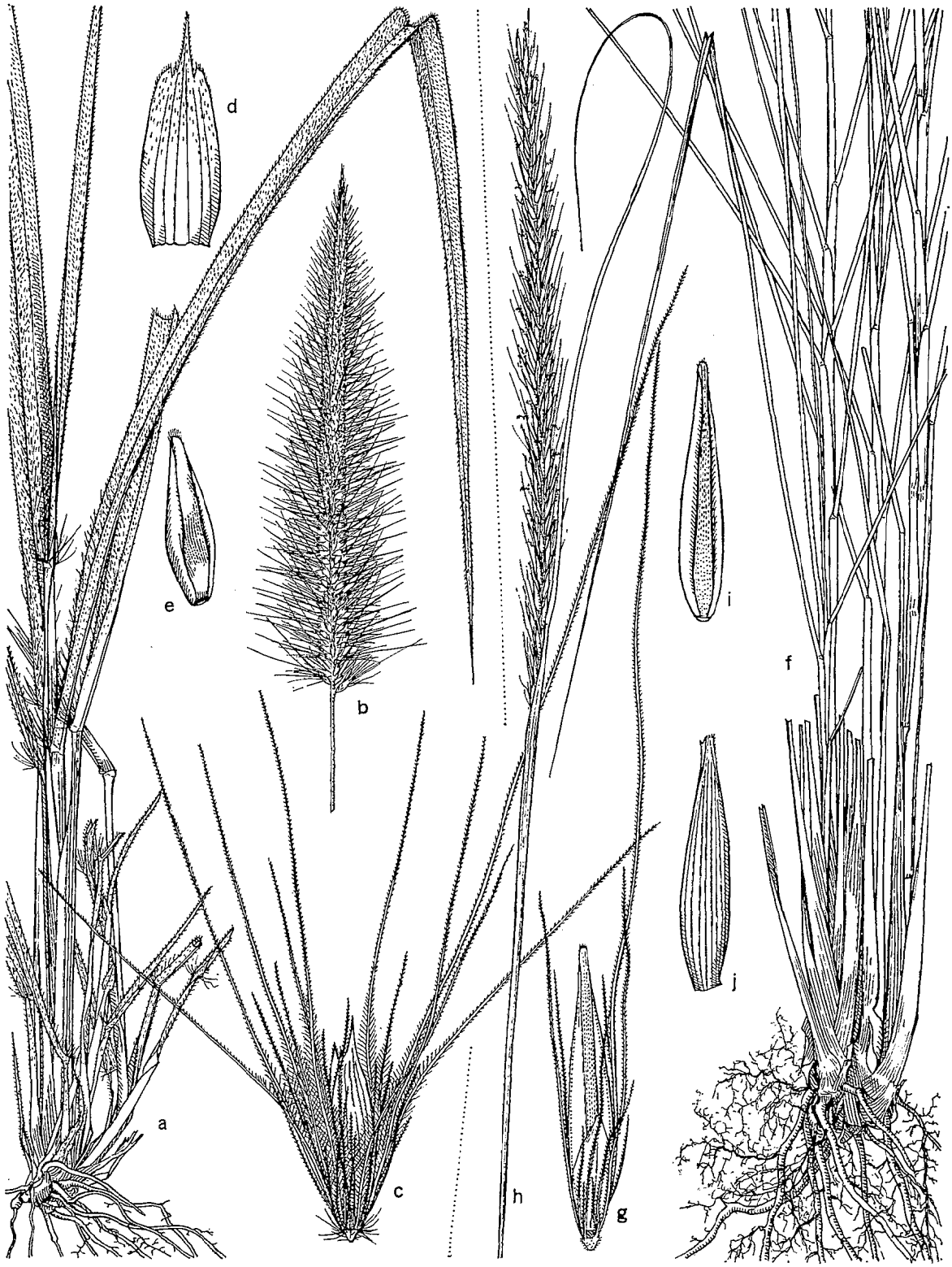
Herbe pérenne, en grosses touffes denses, puissamment enracinées ; chaumes dressés, glabres, un peu comprimés, feuillés jusqu'au sommet, ayant de 50-80 cm de haut. Feuilles à limbes étroitement linéaires filiformes, de 15-50 cm de long sur 2-4 mm de large, pliés et à bords enroulés ; ligule réduite à une ligne de poils courts et denses.

Inflorescences en faux épis terminaux, peu exserts, grêles et assez lâches, de 8-20 cm de long sur 5-8 mm de large. Involucres très facilement caduques, formés relativement de peu de soies : 10-15, grêles, scabérules, l'une nettement plus longue et plus forte, atteignant 12-25 mm de long. Epillets solitaires dans l'involucre, sessiles, glabres, lancéolés, de 7-9 mm de long, vert pâle ; glume inférieure réduite à une petite écaille ovée sans nervure ; glume supérieure, ovée lancéolée, de 1-1,5 mm de long, à 1 nervure peu nette ; fleur inférieure vide, réduite à la lemma aussi longue que l'épillet ou presque, 7-9-nervée ; fleur supérieure, ♀, de la taille de l'épillet, à glumelles papyracées.

Espèce endémique, fréquente sur les plateaux à partir de 1 000 m d'altitude et jusqu'à 2 000 m et plus sur les pentes du massif de l'Ankaratra. C'est une plante de stations humides à fraîches ; mais surtout rencontrée sur alluvions limoneuses ou sableuses des rivières. Elle est dominante sur certaines alluvions sableuses et les bourrelets sableux du bord des rivières, et peut supporter une submersion temporaire. A cause de son enracinement puissant, c'est une plante efficace pour tenir les talus ou les berges, limiter le ruissellement dans la lutte contre l'érosion en nappe. Elle n'a aucune qualité en tant que fourrage. Les bovins broutent le sommet des feuilles, formant ainsi des touradons à éteules piquantes.

$2n = 54$ (Veyret).

FIG. 109. — *Cenchrus biflorus* Roxb. : a, fragment de la base d'une plante ; b, inflorescence (longue de 5 -15 cm) ; c, involucre (haut de 4 - 7 mm) ; d, épillet, face ventrale (long de 4 - 6 mm) ; e, glume supérieure ; f, fleur supérieure fertile (dos) ; g, base d'un limbe et ligule. — *Pennisetum atrichum* Stapf et Hubb. : h, fragment de la base d'une plante ; i, inflorescence (longue de 10 - 20 cm) ; j, involucre (soies les plus longues de 15 - 25 mm) ; k, lemma de la fleur inférieure (longue de 4 mm) ; l, fleur supérieure fertile, face ventrale (longue de 1,8 - 2 mm).


d
e
b
a
c
h
g
i
f
j

2. **P. atrichum** Stapf et Hubb. (fig. 109).

Herbe pérenne, cespiteuse, robuste ; chaumes dressés ou parfois genouillés à la base, glabres, de 1-2 m de haut. Feuilles à limbes linéaires, plans, terminés en pointe sétacée, glabres ou plus ou moins lâchement pileux, ayant de 10-40 cm de long sur 5-15 mm de large ; ligule réduite à un court rebord tronqué et cilié.

Inflorescences en faux épis terminaux, cylindriques, denses, ayant de 10-20 cm de long sur 1 cm de diamètre environ, jaunâtres ou souvent violacés, hirsutes. Involucres sessiles, d'abord dressés puis étalés et réfléchis (soies tournées vers le bas), soies de 20 à 25, grêles, scabérules, inégales, les plus fortes pouvant être un peu ciliées près de la base, les plus longues ayant 15-25 mm. Epillets lancéolés ou oblongs, de 4 mm de long environ, brun pâle, solitaires et sessiles dans l'involucre ; glume inférieure, réduite à une petite écaille ne dépassant pas 1,5 mm de long, 0-1-nervée ; glume supérieure de la taille de l'épillet, finement membraneuse, 5-7-nervée ; fleur inférieure ♂, lemma semblable à la glume supérieure, un peu plus courte, irrégulièrement trilobée au sommet, 5-7-nervée ; fleur supérieure ♀, lancéolée, nettement plus courte que l'épillet, 1,8-2 mm de long, à glumelles chartacées, lisses et brillantes, jaune pâle.

Espèce africaine, qui ne se trouve à Madagascar que dans la zone à climat chaud et humide de l'Est. Elle y est localement assez fréquente et se comporte comme une plante rudérale et une adventice des cultures, dans des stations bien drainées, sur sols ferrallitiques argilo-sableux. C'est un bon fourrage mais d'importance réduite car sporadique et ne formant pas de peuplements étendus. On la trouve aussi occasionnellement dans la savane à *Aristida similis* sur les collines d'alluvions anciennes.

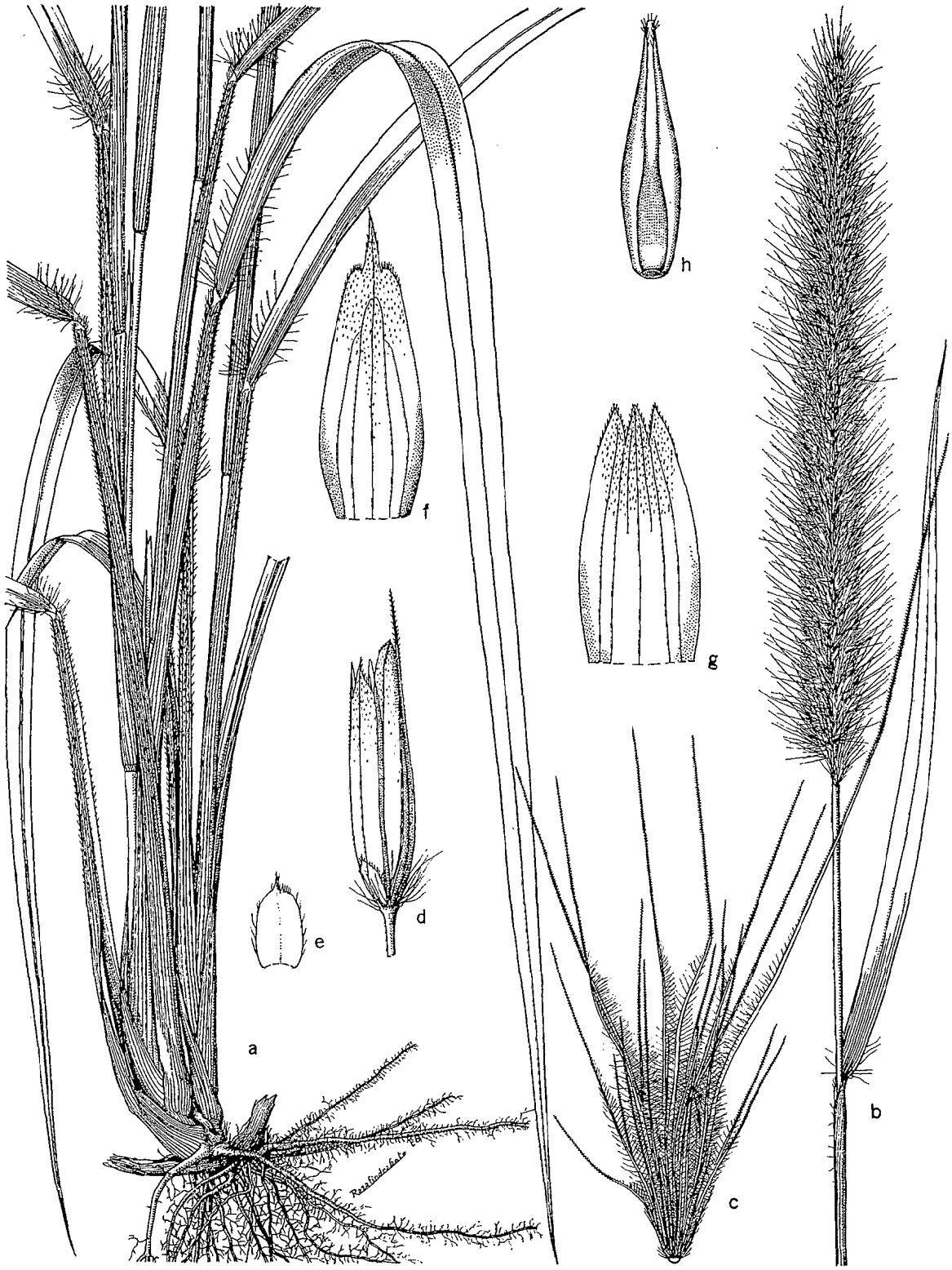
3. **P. polystachyon** (Linn.) Schult. (fig. 110).

Nom malgache : Rambonalika, Veroboboka.

Herbe cespiteuse, annuelle ou pérenne, de moyennement robuste à robuste, atteignant 1-1,50 m de haut, rarement plus ; chaumes glabres ou un peu scabérules au sommet, ramifiés aux nœuds, donnant parfois des racines adventives aux nœuds inférieurs. Feuilles à limbes linéaires, plans, de 15-40 cm de long sur 5-15 mm de large, glabres, souvent munis de poils sétacés denses, à la base, ou encore plus ou moins pileux (poils à base tuberculée) ; ligule représentée par une courte membrane ciliée.

Inflorescences en faux épis terminaux, cylindriques, en général très denses, hirsutes, à soies d'abord dressées puis étalées et réfléchies, de jaunes à bruns ou violacés, ayant de 7-20 cm de long sur environ 1 cm de diamètre (sans les soies). Involucres subsessiles, à soies nombreuses, 20 à plus de 30, très inégales, les externes courtes, grêles et scabérules, les internes plus longues, plus fortes, à base munie de longs poils fins, cotonneux, entremêlés, une soie plus longue que les autres atteignant 12-30 mm de long. Epillets solitaires dans les involucres, sessiles, glabres, ovés aigus ou oblongs, souvent brunâtres, de 4-5 mm de long ; glume inférieure nulle ou plus ou moins développée et atteignant 2 mm de long, sans nervure ; glume supérieure de la taille de l'épillet, acuminée ou plus ou moins trilobée au sommet, 5-nervée ; fleur inférieure ♂ ou vide, lemma semblable à la glume supérieure, un peu plus courte, sommet irrégulièrement trilobé ; fleur supérieure, ♀, lancéolée, nettement plus courte que l'épillet, à glumelles finement chartacées et lisses.

FIG. 110. — *Pennisetum polystachyon* (Linn.) Schult. : a, fragment de la base d'une plante ; b, inflorescence (longue de 7 - 20 cm) ; c, involucre (soies les plus longues atteignant 12 - 30 mm) ; d, glume supérieure (longue de 4 - 5 mm) ; e, fleur supérieure fertile. — *Pennisetum pseudotriticoides* A. Camus : f, fragment de la base d'une plante ; g, involucre et épillet (épillet long de 7 - 9 mm) ; h, inflorescence (longue de 8 - 20 cm) ; i, fleur supérieure fertile ; j, lemma de la fleur inférieure.


a
b
c
d
e
f
g
h

Espèce existant en Afrique, en Amérique, aux Indes, très commune à Madagascar, dans tous les domaines climatiques sauf le Sud subaride. Elle s'accommode de stations diverses, en général bien drainées et à sols assez profonds : plateaux non érodés, bas de pentes, alluvions, exceptionnellement sur sols érodés et tassés. Son comportement est celui d'une plante rudérale ; on la trouve en bord de route, en adventice dans les cultures sèches. Elle est parfois abondante sur les jachères et on la rencontre aussi sporadiquement dans les savanes à *Heteropogon* et *Hyparrhenia*. C'est un bon fourrage au stade jeune qui peut fournir un pâturage de valeur.

Les plantes rattachées à *P. polystachyon* forment un complexe qui comprend peut-être 2 espèces : *P. polystachyon* proprement dit, plante annuelle, et *P. setosum* Rich., plante pérenne. Les échantillons que nous avons de Madagascar ne nous permettent pas pour l'instant d'élucider ce problème. Une étude plus fouillée sur le terrain et l'expérimentation en station, permettraient de mieux l'éclairer.

$2n = 54$ (Tateoka).

P. pedicellatum Trin. (fig. 111).

Herbe annuelle en touffes diffuses ; chaumes grêles ou moyennement robustes, glabres, scabérules sous l'inflorescence, ramifiés aux nœuds, ayant de 0,50 à 1 m de haut. Feuilles à limbes linéaires, plans, de 5-25 cm de long sur 5-10 mm de large, pileux sur les deux faces ou presque glabres ; ligule représentée par une courte membrane ciliée au sommet.

Inflorescences en faux épis terminaux, denses ou assez lâches, hirsutes et d'apparence laineuse, pâles et à soies violacées ou entièrement violacés, ayant de 5-15 cm de long sur 1-1,5 cm de large (sans les soies). Involucres sessiles, obliquement étalés, à soies nombreuses très inégales, les externes beaucoup plus courtes, pâles, scabérules, les internes plus longues, à partie basale densément pileuse (poils fins, cotonneux, entremêlés) ; les soies les plus longues atteignant 15-25 mm. Epillets solitaires ou par groupes de 2-5, lancéolés, de 3-4 mm de long, portés par des pédicelles nets (bien que parfois courts) ; glume inférieure lancéolée, de taille variable, pouvant atteindre la 1/2 de la longueur de l'épillet, 0-1-nervée, munie parfois de quelques longs poils fins ; glume supérieure aussi longue que l'épillet, 5-7-nervée, avec parfois de longs poils fins à la base ; fleur inférieure, ♂ ou vide, à lemma assez semblable à la glume supérieure, un peu plus courte, sommet tronqué, diversement et irrégulièrement lobé ; fleur supérieure ♀, nettement plus courte que l'épillet, de 2,5 mm de long, à glumelles chartacées, lisses et brillantes.

Espèce Ouest africaine, signalée aussi aux Indes, existant à Madagascar dans le domaine subhumide de l'Ouest. Elle semble assez peu fréquente. On la trouve surtout dans la région d'Ambato-Boeni, Majunga, en stations un peu humides et ombragées, sur alluvions au bord des rivières, ou en lisière forestière.

Espèces introduites et cultivées.

P. typhoïdes (Burm.) Stapf et Hubb.

Herbe annuelle, de 2-3 m de haut, en grosses touffes, à grandes feuilles dont le limbe peut atteindre 1 m de long. Faux épis cylindriques, gros, de 15-35 cm de long sur 1,5-3,5 cm de diamètre. Involucres à soies nombreuses mais courtes : 4-7 mm de long. Epillets solitaires ou par 2-5, brièvement pédicellés. Caryopse oblong, de 2,5-4 mm de long, gris clair à gris sombre.

FIG. 111. — *Pennisetum pedicellatum* Trin. : a, fragment de la base d'une plante ; b, inflorescence (longue de 5 - 15 cm) ; c, involucre (soies les plus longues de 15 - 25 mm) ; d, épillet, vue latérale (long de 3 - 4 mm) et son pédicelle ; e, glume inférieure ; f, glume supérieure ; g, lemma de la fleur inférieure ; h, fleur supérieure fertile (longue de 2,5 mm).

C'est un millet d'origine africaine, introduit sur la côte Ouest de Madagascar où il a donné lieu à une culture familiale, surtout en pays Makoa. Cette culture n'est plus guère pratiquée, mais on peut trouver encore quelques pieds dans les villages, près des habitations.

P. purpureum Schumach.

Noms français : Herbe à éléphants, Herbe Napier.

Noms anglo-saxons : Elephant grass, Napier grass.

Herbe pérenne, stolonifère, formant de grosses touffes ; chaumes atteignant 1,50 à 3,50 m de haut suivant les conditions de sols. Faux épis ayant jusqu'à 30 cm de long, brun-jaune ou jaunes, hirsutes. Involucres finalement réfléchis, tôt caduques. Soies nombreuses, scabérules, les internes parfois un peu pileuses à la base. Epillets glabres, solitaires et sessiles ou par petits groupes de 2-5, lancéolés, de 4,5-6 mm de long ; glume inférieure absente ou très petite ; glume supérieure atteignant la moitié de la longueur de l'épillet ; fleur supérieure fertile à lemma finement chartacée et lisse à la base, herbacée et nervée au sommet.

Plante originaire d'Afrique tropicale humide. Excellent fourrage, donnant de gros tonnages de matière verte, et bien qu'un peu grossier, très apprécié des animaux ; introduit et cultivé partout sous les tropiques. La plante ne donne pas de graines à Madagascar et est multipliée par éclats de souches. Elle a un excellent rendement sur sols profonds et frais : alluvions, colluvions de bas de pente, sols ferrallitiques ou ferrugineux tropicaux non dégradés sur plateaux et collines, sous climat humide. Elle est cultivée un peu partout à Madagascar jusque dans le Sud (région d'Ambovombe) où elle pousse vigoureusement sur les sables, grâce aux condensations nocturnes. Elle est aussi très utile dans la lutte contre l'érosion et sert à constituer des bandes freinant le ruissellement, et à maintenir les talus et ados.

P. clandestinum Hochst. ex Chiov.

Nom commun : Kikuyu.

Herbe pérenne, rhizomateuse, stolonifère et gazonnante, couchée sur le sol, à pousses dressées relativement courtes (jusqu'à 40 cm) très feuillées. Feuilles de développement très variable, limbes de 1-25 cm de long sur 3-6 mm de large.

A Madagascar, elle fleurit très rarement et seulement quand elle est en conditions difficiles (sol épuisé, manque d'eau). L'inflorescence est peu visible car elle est formé d'un épi de 2-4 épillets inclus dans la gaine foliaire. Ils se signalent par la sortie de longs stigmates, filiformes, étalés, au moment de l'anthèse. L'involucre est formé de 10-15 soies plus courtes que l'épillet, celui-ci allongé, atteignant 1-1,5 cm de long.

Plante originaire des montagnes de Tanzanie, introduite à Madagscar où on l'utilise surtout pour constituer des pelouses sur les plateaux, au-dessus de 800 m d'altitude.

C'est une herbe relativement exigeante qui ne donne une bonne pousse que sur sols fertiles, mais elle peut se maintenir et couvrir convenablement le sol même si les conditions sont difficiles. Nous pensons qu'elle pourrait donner d'excellents pâturages temporaires dans la partie Est, plus humide, des plateaux, jusqu'à 1 200-1 300 m d'altitude. C'est une plante envahissante, qui a pourtant été associée au trèfle blanc dans son pays d'origine. Sur sol pauvre et trop sec, elle est moins agressive et peut elle-même être dominée par des plantes plus rustiques (*Cynodon dactylon*). Elle est aussi très utile dans la lutte contre l'érosion en nappe et peut servir à fixer les talus de route, bien que son établissement soit assez lent. Elle se multiplie uniquement par fragments de stolons. Dans les plantations arbustives (caféières), elle peut devenir une mauvaise herbe gênante.

RHYNCHELYTRUM Nees

Genre surtout africain dont certaines espèces sont largement répandues. Deux d'entre elles sont naturalisées à Madagascar. Ce genre est caractérisé par ses épillets comprimés latéralement, généralement pileux, soyeux, à poils longs, argentés ou rosés.

CLÉ DES ESPÈCES

1. Annuelle ou pluriannuelle, en touffes lâches, gaines des feuilles basales ni imbriquées ni persistantes ; limbes plans ou lâchement enroulés, mais non étroitement filiformes. Epillets à glume supérieure et lemma inférieure nettement gibbeuses sur le dos ; insertion des glumes séparées, distantes de 0,5-0,7 mm.

1. *R. repens*

1. Pérenne, en touffes denses, gaines des feuilles basales persistantes et imbriquées ; limbes filiformes très étroits (0,5 mm de diamètre enroulés). Epillets à glume supérieure et lemma inférieure peu nettement ou non gibbeuses sur le dos ; insertion des glumes proches l'une de l'autre.

2. *R. setifolium*

1. **Rhynchelytrum repens** (Willd.) Hubb. (= *R. roseum* (Nees) Stapf et Hubb.) (fig. 112).

Noms malgaches : Ahipody, Ahikongona, Menapaka.

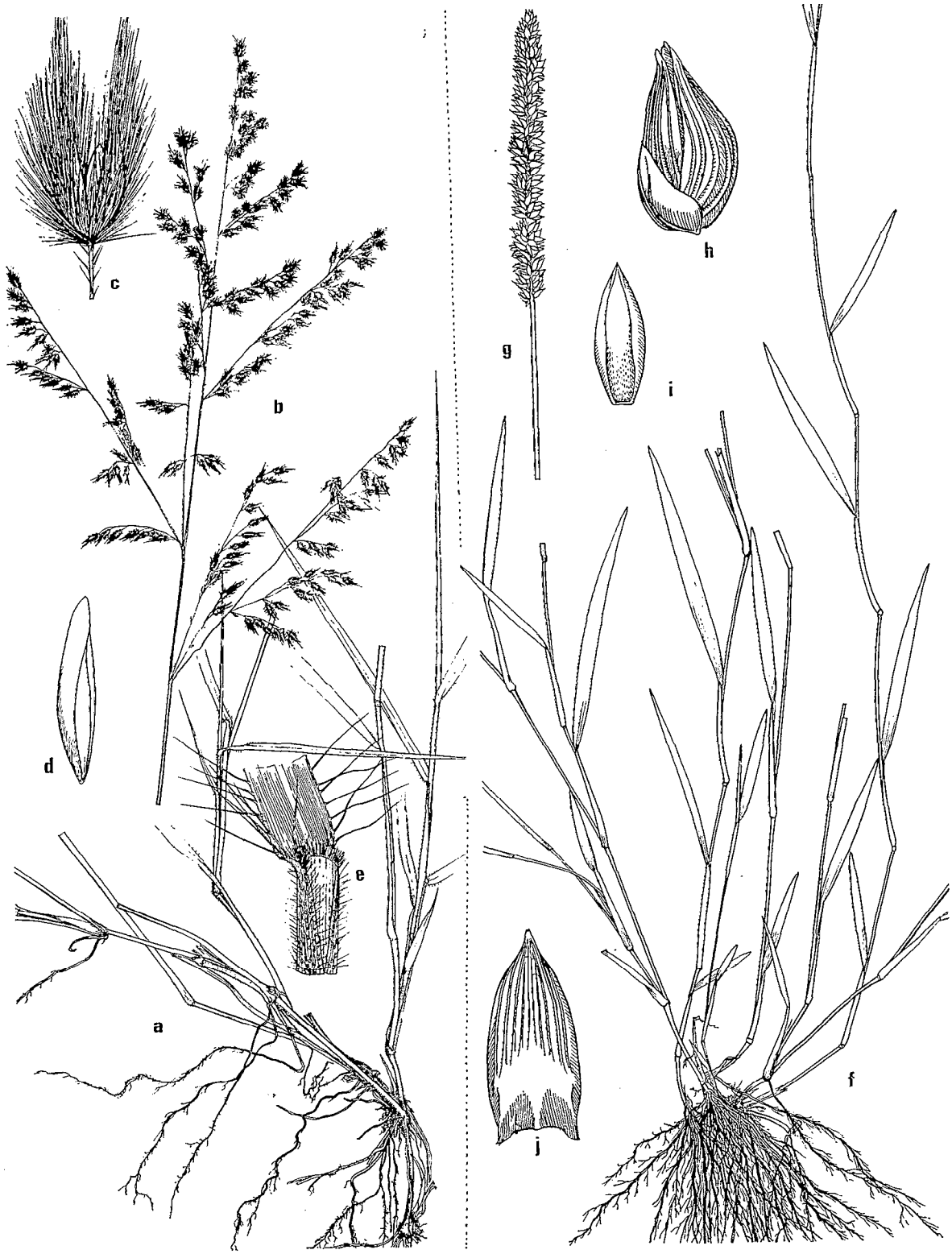
Nom commun : Herbe rose.

Nom anglo-saxon : Natal Red top grass.

Herbe annuelle ou pluriannuelle, cespiteuse ; chaumes dressés, parfois genouillés à la base, glabres ou un peu pileux sous les nœuds, ayant de 30-80 cm de haut (parfois plus pour les échantillons robustes) ; nœuds pubescents. Feuilles à limbes linéaires, plans ou à marges enroulées, de 5-20 cm de long sur 4-8 mm de large, en général glabres ; ligule représentée par une ligne de poils raides.

Inflorescences en panicules ovées ou oblongues, lâches ou assez contractées et denses, de 5-20 cm de long sur 3-7 cm de large, soyeuses, en général rosées (de blanches à rose violacé) ; ramifications solitaires ou parfois rapprochées par 2, grêles, obliquement dressées ; pédicelles des épillets capillaires, plus ou moins sinueux, portant de longs poils vers le sommet. Epillets très variables de taille, 3-6 mm de long, très comprimés latéralement, à longs poils soyeux, denses, brillants, blancs à rose violacé, dressés et apprimés, dépassant le sommet ; glume inférieure, pileuse, tronquée au sommet, 1-2 mm de long, 1-nervée ; glume supérieure de la longueur de l'épillet, distante de la première de 0,5-0,7 mm, nettement gibbeuse sur le dos, longuement pileuse dans sa partie inférieure, rétrécie au sommet en un bec plus ou moins développé, glabre et à marges ciliées, émarginé et plus ou moins longuement aristé (arête de 1-7 mm), 5-nervée ; fleur inférieure ♂ ou vide, à lemma très semblable à la glume supérieure ; fleur supérieure ♀, petite, atteignant la 1/2 de la longueur de l'épillet, un peu comprimée latéralement, à glumelles finement coriaces, lisses et brillantes.

Herbe pantropicale, commune à Madagascar, même dans les régions sèches du Sud. Très variable quant à la taille de l'épillet (parfois dans une même inflorescence) et quant au développement de la plante :


a
b
c
d
e
f
g
h
i
j

dans le Sud, elle est en général plus grande, en touffes moins denses, à chaumes plus grossiers. C'est une héliophile, s'accommodant de stations très diverses, en général bien drainées, commune au bord des chemins, dans les jachères et champs cultivés, s'introduisant occasionnellement dans les savanes herbeuses à *Heteropogon contortus* et *Hyparrhenia rufa*. En bonnes conditions, elle peut persister plusieurs années, mais se comporte le plus souvent comme une annuelle. C'est un bon fourrage qui peut être installé par semis, 50 % des graines mûrissent et sont fertiles.

$2n = 36$ (Tateoka).

2. **R. setifolium** (Stapf) Chiov. (fig. 113).

Herbe pérenne, en touffes denses ; chaumes dressés, de 50-90 cm de haut, grêles, glabres, simples, à nœuds densément pileux ou glabres. Feuilles surtout basales, à limbes linéaires, filiformes, étroitement enroulés, glabres ou pileux, de 8-30 cm de long sur 0,5 mm de large (non déroulés) ; ligule réduite à une ligne de poils courts.

Inflorescences en panicules étroites, presque linéaires, blanches ou rosées, de 8-20 cm de long sur 1-2 cm de large ; ramifications grêles, dressées, solitaires, parfois rapprochées par 2 ; pédicelles des épillets capillaires et flexueux. Epillets facilement caduques, étroitement oblongs, de 4-6 mm de long ; glumes à insertion rapprochées, l'inférieure très petite, 0,5 à 1 mm de long, portant des poils plus longs qu'elle-même qui la rendent peu visible ; glume supérieure de la taille de l'épillet, non gibbeuse sur le dos, munie de longs poils dans sa moitié inférieure, rétrécie au sommet en un bec glabre parfois rosé, cilié sur les marges, terminé par un mucron ou une courte arête droite atteignant 5 mm de long, 5-nervée ; fleur inférieure ♂ ou vide, à lemma semblable à la glume supérieure mais à arête plus longue ; fleur supérieure ☿, nettement plus courte que l'épillet, de 3 mm de long, un peu comprimée latéralement, à glumelles pâles finement coriaces, lisses.

Espèce africaine. A Madagascar, elle semble limitée aux plateaux, au-dessus de 1 000 m d'altitude. On la trouve sporadiquement dans des stations sèches bien drainées, souvent rocailleuses. Elle est beaucoup moins fréquente que la précédente et a été récoltée aux environs de Tananarive, Antsirabe, dans l'Itasy (Miarinarivo), dans les bois de tapias (*Uapaca Bojeri*).

MELINIS P. Beauv.

Genre africain dont une espèce est naturalisée à Madagascar. Il est caractérisé par des épillets petits, comprimés latéralement, glabres ou lâchement pileux, aristés ou non, à glume inférieure très petite, glume supérieure aussi longue que l'épillet semblable à la lemma inférieure.

M. minutiflora P. Beauv. (fig. 74).

Nom malgache : Ahitsolika, Menakapaha, Sandrahirika.

Nom anglo-saxon : Molasses grass.

Herbe pérenne, en touffes diffuses, à chaumes couchés à la base, ramifiés et radicants aux nœuds, puis dressés, atteignant 1,5 à 2 m de long, glabres ou plus ou moins pileux sous les nœuds ; nœuds pileux.

FIG. 112. — *Rhynchelytrum repens* (Willd.) Hubb. : a, fragment d'une souche ; b, inflorescence (longue de 5 - 20 cm) ; c, épillet (long de 3 - 6 mm) ; d, fleur fertile ; e, base du limbe et ligule. — *Sacciolepis indica* (Linn.) Chase : f, base d'une plante ; g, inflorescence (longue de 2 - 5 cm) ; h, épillet (long de 2,3 - 2,8 mm) ; i, fleur fertile, face ventrale ; j, lemma de la fleur inférieure, dos.


a
b
c
d
e
f
g
h
i

Feuilles le plus souvent très pileuses, poisseuses au toucher, à poils secrétant une oléo-résine visqueuse et très odorante, odeur spécifique signalant la plante ; limbes étalés ou à marges enroulées, atteignant 15 cm de long sur 4-12 mm de large, souvent plus ou moins rougeâtres ou bruns, surtout en sèchant ; ligule représentée par une ligne de poils assez longs.

Inflorescences en panicules terminales, grêles, oblongues ou ovées, souvent violacées, le plus souvent assez denses et contractées, plus rarement lâches et étalées, ayant de 10-30 cm de long ; ramifications fasciculées, grêles, dressées ou étalées ; pédicelles des épillets grêles, atteignant 2 mm de long. Epillets glabres, de 1,8-2,3 mm de long, aristés ou non, vert pâle ou plus ou moins pourpres ; glume inférieure réduite à une petite écaille sans nervure à la base de l'épillet ; glume supérieure aussi longue que l'épillet, lobée au sommet, et avec parfois un mucron entre les lobes, à 7 nervures nettement saillantes ; fleur inférieure stérile, lemma semblable à la glume supérieure, lobée au sommet, mutique ou aristée entre les lobes (arête fine atteignant 10 mm de long, parfois plus), à 5 nervures saillantes ; fleur supérieure ♀, plus courte que l'épillet, à glumelles finement chartacées, jaune pâle, lisse.

Espèce africaine, assez commune à Madagascar dans toute la zone des plateaux. Elle se comporte parfois comme une rudérale, croissant aux bords des routes, sur les talus, mais on la trouve aussi, souvent, dans les rocailles, les amas de rochers, en station sèche, ensoleillée, protégée des feux auxquels elle ne résiste pas. On ne peut dire qu'elle soit une constituante des savanes à *Aristida*, mais on la rencontre cependant sur certaines pentes érodées, sur sols ferrallitiques dérivant de gneiss ou de granites, dans une végétation très ouverte où le feu ne passe plus que rarement. Elle peut constituer de petits îlots mais ne forme jamais de peuplements très denses. Dans la nature, elle ne semble pas être broutée par les animaux. C'est pourtant un excellent fourrage qui peut être utilisé pour constituer des prairies temporaires. Il a été introduit dans beaucoup de pays tropicaux à cette fin. A Madagascar, diverses variétés ont été essayées en station avec succès. Il s'établit par semis. Les bovins finissent par bien s'y accoutumer malgré son odeur forte et sa viscosité.

$2n = 36$ (Avdulov, Tateoka).

TRICHOLAENA Schrad.

Genre groupant une dizaine d'espèces africaines et asiatiques ; une espèce naturalisée et commune à Madagascar. Ce genre est proche de *Melinis* et s'en distingue surtout par la fleur inférieure de l'épillet qui est ♂ au lieu d'être stérile.

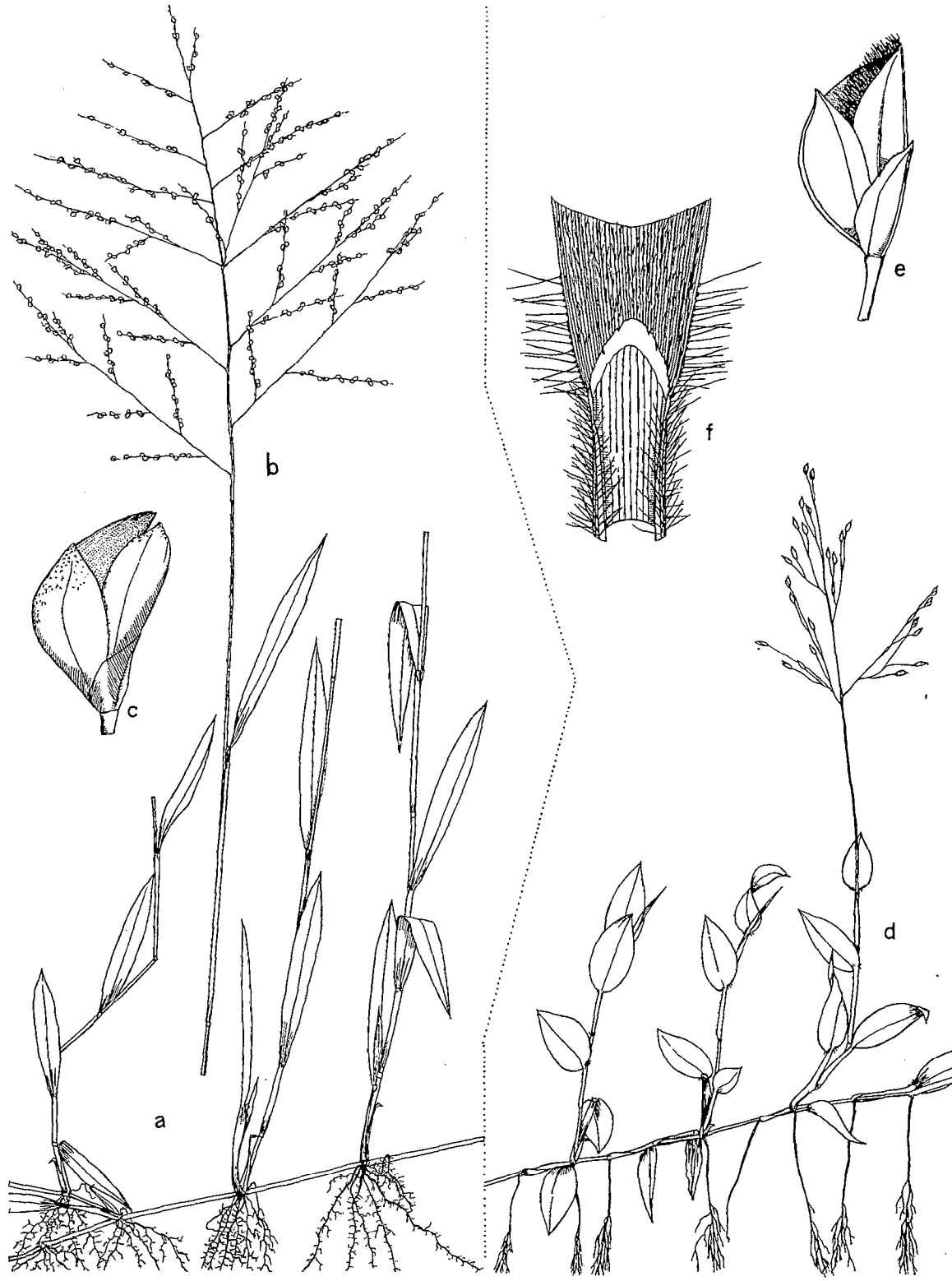
T. monachne (Trin.) Stapf et Hubb. (fig. 113).

Nom malgache : Ahipody.

Herbe pérenne, cespiteuse ; chaumes de grêles à moyennement robustes, ayant de 0,30 à 1,20 m de haut, glabres, ramifiés aux nœuds inférieurs ; nœuds glabres. Feuilles à limbes linéaires, enroulés, terminés en pointe fine, ayant de 4 à 15 cm de long sur 2-5 mm de large (déroulés), glabres ou plus rarement, un peu pubescents ; ligule réduite à une ligne dense de poils courts.

Inflorescences en panicules exsertes, ovées, oblongues, lâches, jaunes ou violacées, ayant de 6-15 cm de long sur 4-12 cm de large ; ramifications solitaires ou rapprochées par deux, obliquement dressées,

FIG. 113. — *Rhynchelytrum setifolium* (Stapf) Chiov. : a, fragment de la base d'une plante ; b, inflorescence (longue de 8 - 20 cm) ; c, épillet (long de 4 - 6 mm) ; d, base d'un limbe et ligule. — *Tricholaena monachne* (Trin.) Stapf et Hubb. : e, épillet, vue latérale (long de 2 - 3 mm) ; f, fragment de la base d'une plante ; g, inflorescence (longue de 6 - 15 cm) ; h, fleur supérieure fertile, face ventrale (longue de 1,5 mm) ; i, base d'un limbe et ligule.


b
c
a
f
e
d

longuement nues à la base ; pédicelles des épillets capillaires, sinueux, atteignant 7 mm de long. Epillets comprimés latéralement, ovés, de 2-3 mm de long, baillant au sommet, glabres, jaunâtres ou violacés ; glume inférieure réduite à une petite écaille à peine visible à la base de l'épillet ; glume supérieure de la longueur de l'épillet ou un peu plus courte, 5-nervée ; fleur inférieure aussi longue que l'épillet, le plus souvent ♂, lemma ressemblant à la glume supérieure, mais plus ample, 5-nervée ; fleur supérieure ♀, petite, de 1,5 mm de long environ, lancéolée, à glumelles finement coriaces, lisses et brillantes, jaune pâle.

Espèce commune en Afrique, qui s'est étendue jusqu'en Asie. Elle existe aussi dans les îles Maurice et La Réunion et est fréquente à Madagascar sous climats secs ou à longue saison sèche et à moyenne élevée de température (Sud et Ouest). C'est une plante héliophile, de station sèche, qui s'accommode de sols divers, dunes de bord de mer, calcaires squelettiques, sols ferrugineux tropicaux sur sables. Elle fait partie des savanes à *Heteropogon contortus* dégradés et des savanes à *Aristida rufescens*.

Elle peut monter en altitude dans la partie Ouest, plus sèche, des plateaux (Ambatofinandrahana). Cette plante a l'allure générale d'un *Panicum*, mais elle se distingue par son épillet comprimé latéralement, et sa glume inférieure minuscule. C'est un fourrage médiocre.

2 $n = 36$ (de Wet)

CYRTOCOCCUM Stapf

Genre ne comptant que quelques espèces asiatiques, malaises, une seule espèce africaine. A Madagascar, deux espèces peuvent être retenues.

Ce genre se signale par ses épillets très comprimés latéralement, à profil gibbeux sur le dos.

CLÉ DES ESPÈCES

1. Epillets de 1,5-2 mm de long, aigus au sommet. ..... 1. *C. deltoideum*

1. Epillets n'atteignant pas 1,5 mm de long, à sommet obtus. ..... 2. *C. Bosseri*

1. **C. deltoideum** (Hack.) A. Camus (fig. 114).

Nom malgache : Velatrahitra.

Herbe annuelle, grêle, à tiges couchées à la base, ramifiées et radicantes aux nœuds, gazonnantes ; chaumes florifères dressés, atteignant 7-25 cm de haut, nœuds pileux à hirsutes. Feuilles à limbes ovés lancéolés, de 1-4 cm de long sur 4-13 mm de large, plans, aigus au sommet, rétrécis à la base et asymétriques, avec un côté un peu arrondi, de texture molle, presque glabres ou pileux et souvent munis sur la partie inférieure des marges, de cils à base tuberculée ; ligule membraneuse et tronquée.

Inflorescences en panicules ovées, assez étroites, de 2-10 cm de long, à rameaux solitaires, dressés au stade jeune, puis obliquement étalés, ceux de la base pouvant atteindre 7-8 cm de long ; pédicelles des

FIG. 114. — *Cyrtococcum Bosseri* A. Camus : a, base d'une plante ; b, inflorescence (longue de 7 - 15 cm) ; c, épillet, vue latérale (long de 1,2 - 1,4 mm). — *Cyrtococcum deltoideum* (Hack.) A. Camus : d, base d'une plante et chaume fleuri (panicule longue de 2 - 10 cm) ; e, épillet, vue latérale (long de 1,5 - 2 mm) ; f, base d'un limbe et ligule.


a
b
c
d
e
f
g
h
i

épillets grêles, longs et flexueux. Epillets ovés aigus, de 1,5-2 mm de long, comprimés latéralement, glabres ou paraissant glabres, vert sombre, souvent teintés de violacé ; glume inférieure ovée aiguë, atteignant les 3/4 de la longueur de l'épillet, 3-nervée ; glume supérieure subégale ou un peu plus longue, 3-nervée ; fleur inférieure ♂ ou vide, lemma de la taille de l'épillet, 5-nervée, un peu pileuse sur les marges au sommet ; fleur supérieure ♀, très comprimée latéralement et arrondie, gibbeuse sur le dos, à glumelles indurées, chartacées, pâles et lisses, lemma munie d'un petit cal vert au sommet.

Herbe endémique, commune dans le domaine humide de l'Est et sur les plateaux. C'est une plante d'ombre légère, de la lisière de la forêt ombrophile entre 700 et 1 500 m d'altitude. Elle se trouve aussi dans des endroits découverts, frais, bas de pente, alluvions, bords de ruisseaux. A l'ombre des arbres, elle peut donner des tapis presque purs. Elle peut être adventice dans les cultures de la zone forestière : caféières, bananeraies.

2. **C. Bosseri** A. Camus (fig. 114).

Herbe annuelle, en touffes diffuses, chaumes glabres, grêles, couchés à la base, ramifiés et enracinés aux nœuds, puis dressés, ayant de 30-40 cm de haut. Feuilles à limbes linéaires, ou lancéolés linéaires, de 1,5-6 cm de long sur 4-8 mm de large, plans, rétrécis sur la base, à pilosité très lâche ; ligule membraneuse, glabre, tronquée.

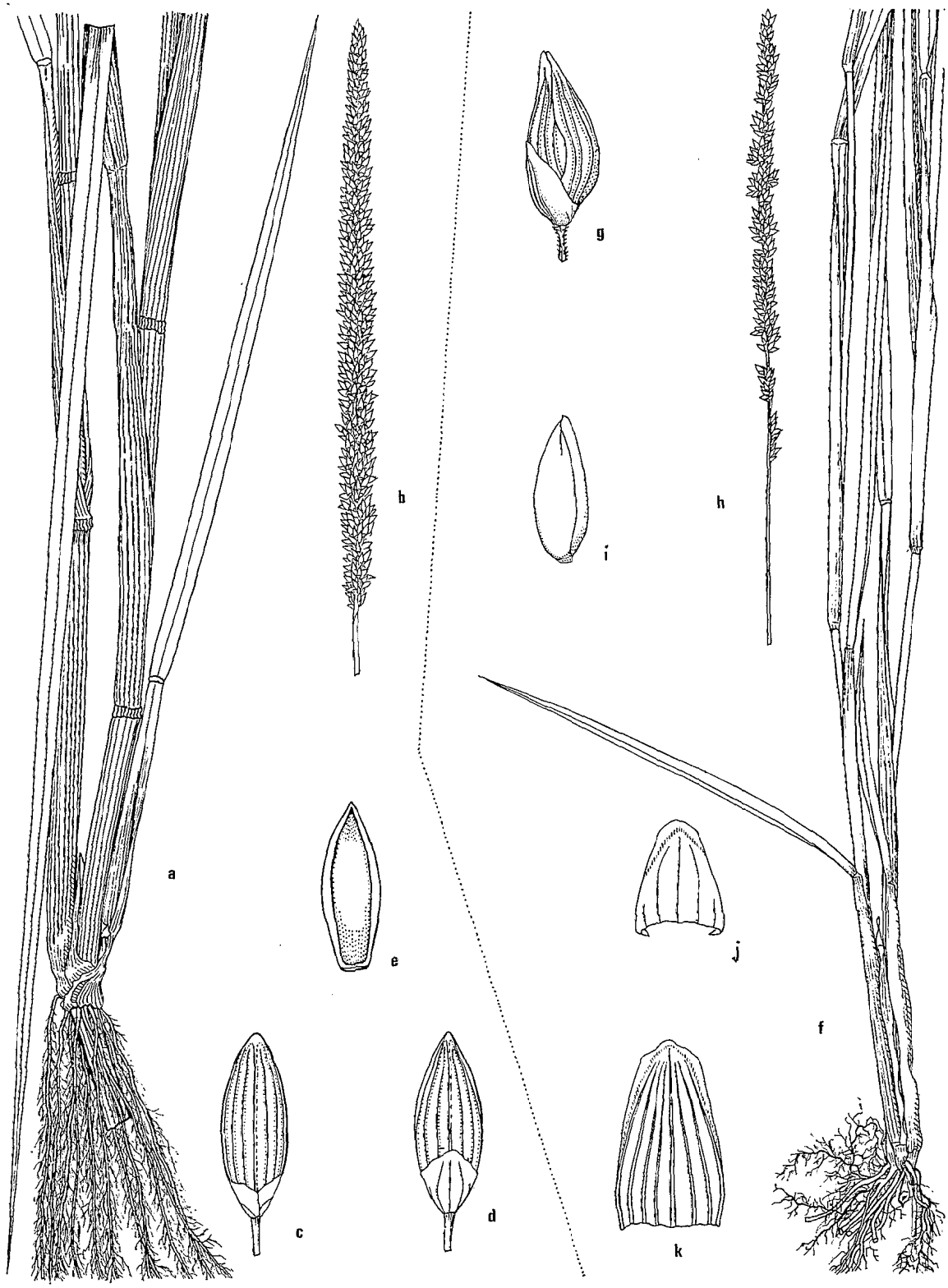
Inflorescences en panicules oblongues ou ovées, de 7-15 cm de long, à nombreux petits épillets ; ramifications solitaires, d'abord dressées, puis étalées, très grêles, glabres, longuement nues à la base, pouvant atteindre 5-10 cm de long ; pédicelles des épillets courts (sauf ceux des extrémités des ramifications). Epillets de 1,2-1,4 mm, glabres, comprimés latéralement, face dorsale arrondie, gibbeuse, glume inférieure triangulée, atteignant la 1/2 ou les 3/4 de la longueur de l'épillet, 3-nervée ; glume supérieure un peu plus longue en général, obtuse au sommet, 3-nervée ; fleur inférieure de la taille de l'épillet, à lemma obtuse, 5-nervée ; fleur supérieure aussi longue que la fleur inférieure, à glumelles finement coriaces, pâles, lisses, lemma ayant un petit cal vert au sommet.

Espèce endémique, qui se distingue aisément de la précédente par son port et ses petits épillets. Elle est beaucoup moins répandue. Elle est fréquente surtout dans l'Ankaizina (environs de Betainkankana). C'est, à l'origine, une espèce de la forêt des plateaux, qui s'est adaptée à des conditions rudérales et qui est parfois abondante sur certaines alluvions sableuses, où elle devient une adventice des cultures sèches (arachides). C'est un exemple d'une espèce endémique de sous-bois et lisières forestières, s'adaptant à un milieu plus ensoleillé. On peut la trouver aussi en d'autres points des plateaux (environs de Tananarive) dans des rocailles, ou amas de rochers protégés des feux.

SACCIOLEPIS Nash

Genre de plantes hygrophiles pour la plupart, répandu dans les régions chaudes du monde et comptant à Madagascar 7 espèces communes ou assez communes. Ce genre est caractérisé par des épis le plus souvent cylindriques et denses et des épillets gibbeux à la base (ce caractère n'étant pas toujours très marqué).

FIG. 115. — *Sacciolepis auriculata* Stapf : a, fragment de la base d'une plante ; b, inflorescence (longue de 4 - 10 cm) ; c, épillet, vue latérale (long de 3,2 - 4 mm) ; d, fleur supérieure fertile (vue ventrale) ; e, base d'un limbe et ligule. — *Sacciolepis curvata* (Linn.) Chase : f, fragment de la base d'une plante ; g, inflorescence (longue de 4 - 17 cm) ; h, épillet, vue latérale (long de 2,3 - 3 mm) ; i, fleur supérieure, vue de trois quarts (longue de 1,5 mm).


a
b
c
d
e
f
g
h
i
j
k
h

CLÉ DES ESPÈCES

1. Inflorescences en panicules lâches ou plus ou moins contractées (mais non cylindriques et denses). Epillets fortement asymétriques, à dos très gibbeux à la base ; glume inférieure courte, 1/4 à 1/5 de la longueur de l'épillet.

1. *S. curvata*

1. Inflorescences en faux épis cylindriques et denses ou plus ou moins interrompus. Epillets à dos arrondi ou presque droit, non fortement gibbeux ; glume inférieure atteignant 1/3 à 2/3 de la longueur de l'épillet.

2. Epillets n'atteignant jamais 2 mm de long.

3. Epillets très petits, ne dépassant pas 1 mm de long. Faux épis atteignant 10 cm de long, à épillets très nombreux. Limbes foliaires filiformes enroulés.

2. *S. micrococca*

3. Epillets de 1,3-1,5 mm de long. Faux épis courts : 0,5-1,8 cm de long. Limbes foliaires plans, linéaires ou lancéolés linéaires.

3. *S. delicatula*

2. Epillets ayant toujours plus de 2 mm de long.

4. Annuelle ; épillets de 2,3-2,8 mm de long, asymétriques, comprimés latéralement ; lemma de la fleur inférieure nettement gibbeuse à la base.

4. *S. indica*

4. Pérennes ; plantes n'ayant pas cet ensemble de caractères.

5. Epillets ne dépassant pas 2,5 mm de long.

5. *S. Viguieri*

5. Epillets de plus de 2,8 mm de long.

6. Epillets de 3,2-4 mm de long, asymétriques, comprimés latéralement, arrondis et gibbeux sur le dos, souvent plus ou moins pileux.

6. *S. auriculata*

6. Epillets de 2,8-3,5 mm de long, symétriques, oblongs, aplatis dorsiventralement et à peine arrondis sur le dos, toujours glabres.

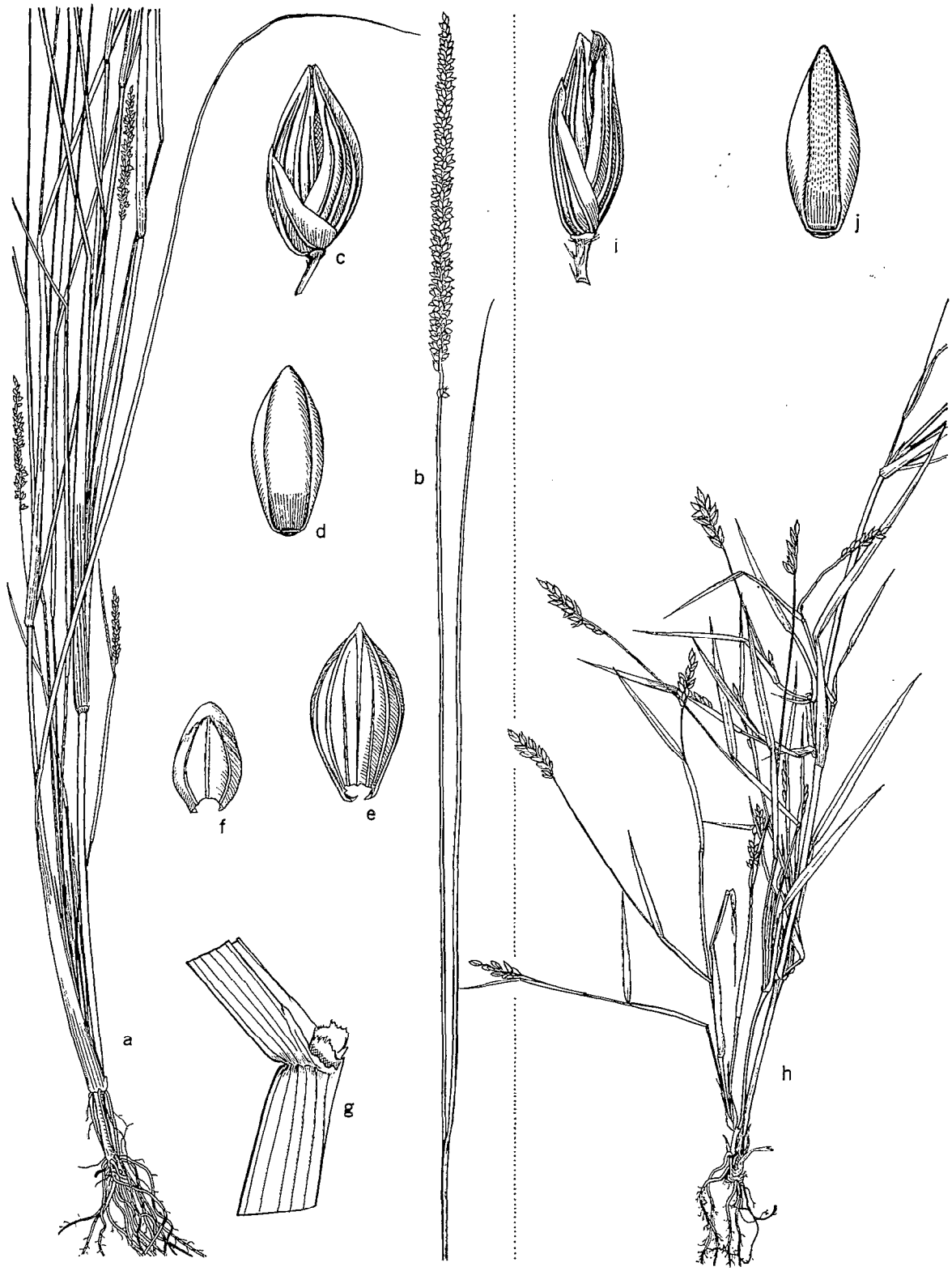
7. *S. africana*

1. **S. curvata** (Linn.) Chase (fig. 115).

Nom malgache : Ahidronono.

Herbe pérenne, à souche ligneuse ; chaumes de 30 cm - 1 m de long, dressés ou s'enracinant aux nœuds inférieurs, ramifiés. Feuilles à limbes linéaires ou lancéolés linéaires, atteignant 10 cm de long sur

FIG. 116. — *Sacciolepis africana* Hubb. et Snowd. : a, base de chaume ; b, inflorescence (atteignant 25 cm de long) ; c, épillet, dos (long de 2,8 - 3,5 mm) ; d, épillet, face ventrale ; e, fleur fertile. — *Sacciolepis Viguieri* A. Camus : f, fragment d'une souche ; g, épillet (long de 2 - 2,5 mm) ; h, inflorescence (longue de 10 - 20 cm) ; i, fleur fertile (profil) ; j, glume inférieure ; k, glume supérieure.


a
b
c
d
e
f
g
h
i
j

6 mm de large, glabres ou à pilosité lâche sur les 2 faces, plans ; ligule réduite à une très courte membrane ciliolée, de 0,1-0,3 mm de haut.

Inflorescences en panicules lâches ou contractées de 4-17 cm de long ; ramifications solitaires restant dressées et appliquées contre l'axe ou étalées ; pédicelles des épillets, grêles, flexueux et lisses. Epillets de 2,2-3 mm de long, asymétriques, fortement gibbeux sur le dos, verts ou plus ou moins teintés de rose violacé, glabres, rarement avec quelques poils sur la glume supérieure et la lemma inférieure ; glume inférieure réduite à une écaille triangulée de 0,5 mm de long ; glume supérieure de la longueur de l'épillet, arrondie au sommet, à 9-11 nervures fortement saillantes ; fleur inférieure stérile ou ♂, lemma semblable à la glume supérieure mais plus étroite et à 5 nervures ; fleur supérieure fertile, de 1,5 mm de long, jaune pâle, à glumelles finement crustacées, lisses, brillantes.

Espèce assez commune, se rencontrant sur la côte Est, sur les sables ou dans des sous-bois clairs, sur les bords des chemins et les berges des rivières. C'est aussi une adventice des cultures sèches. Elle monte en altitude jusqu'à environ 1 000 m.

Dans l'Ouest, on la trouve sporadiquement sur alluvions fraîches, en bordures de marais et dans des endroits un peu ombragés. Une forme à panicule étroite a été récoltée dans le massif de l'Isalo en bords de routes et en sous-bois. Cette espèce existe aussi aux îles Comores. Elle est sans intérêt en tant que fourrage.

$2n = 18$ (Tateoka).

2. **S. micrococca** Mez (fig. 117).

Herbe annuelle, cespiteuse ; chaumes dressés, grêles, de 40-75 cm de haut, ramifiés aux nœuds inférieurs, pouvant être teintés de rose violacé. Feuilles de la base à gaines amples, de texture spongieuse ; limbes filiformes, enroulés, de longueur variable, atteignant 12 cm de long, glabres ; ligule réduite à une très courte membrane tronquée de 0,3-0,4 mm de haut.

Inflorescences en faux épis cylindriques denses ou plus ou moins interrompus, atteignant 10 cm de long sur 2-3 mm de large, ramifications courtes, apprimées contre l'axe ; pédicelles des épillets grêles et flexueux, courts. Epillets elliptiques, symétriques, de 1 mm de long au plus, glabres, brun clair ou jaunes, souvent teintés de rose violacé ; glume inférieure atteignant environ la moitié de la longueur de l'épillet, 3-nervée ; glume supérieure de la longueur de l'épillet, arrondie sur le dos, à 7 nervures saillantes ; fleur inférieure stérile, lemma semblable à la glume supérieure, 7-nervée ; fleur supérieure fertile, un peu plus courte que l'épillet, de 0,8-0,9 mm de long, à glumelles finement crustacées, lisses et brillantes, blanchâtres à jaune clair.

Cette petite espèce hygrophile est sans doute d'introduction assez récente. Elle n'a jusqu'à présent été récoltée que sur la rive Ouest du lac Alaotra (Ambohijanahary, Andramosabe). Elle n'était connue que de l'Afrique du Centre et de l'Ouest. Elle croît sur les jachères de rizières et graine abondamment, ce qui lui permettra sans doute de se répandre rapidement. Sa floraison a lieu en mai-juin. En fin de végétation, elle semble pouvoir donner des chaumes fertiles à épis plus petits et beaucoup moins denses que les épis normaux.

FIG. 117. — *Sacciolepis micrococca* Mez : a, fragment de la base d'une plante ; b, inflorescence (longueur : jusqu'à 10 cm) ; c, épillet, vue latérale (long de 1 mm) ; d, fleur supérieure, face ventrale ; e, glume supérieure ; f, glume inférieure ; g, base de limbe et ligule. — *Sacciolepis delicatula* Mez : h, plante fleurie (haute de 6 - 13 cm) ; i, épillet, vue latérale (long de 1,5 mm) ; j, fleur supérieure fertile, face ventrale.

3. **S. delicatula** Mez (fig. 117).

Petite herbe annuelle, cespiteuse, à chaumes dressés de 6-13 cm de haut, se ramifiant aux nœuds, même les supérieurs, ou en coussinets denses, à chaumes courts, de 2,5-5 cm de long, non ou peu ramifiés. Feuilles à limbes linéaires, plans ou à marges enroulées, de 1-2,5 cm de long sur 0,6-1 mm de large, glabres ; ligule membraneuse, courte et tronquée.

Inflorescences de nettement à peu exsertes, spiciformes, souvent très courtes : 0,5-1,8 cm de long, non interrompue ; ramifications courtes, apprimées contre l'axe. Epillets ovés, symétriques ou presque, ne dépassant pas 1,5 mm de long, glabres, verts, souvent teintés de violet sombre ou de rose violacé ; glume inférieure atteignant les 2/3 ou les 3/4 de la longueur de l'épillet, à 3-5 nervures saillantes ; glume supérieure de la longueur de l'épillet, à dos faiblement arrondi, à 7 nervures saillantes ; fleur inférieure stérile, lemma identique à la glume supérieure, 7-nervée ; fleur supérieure fertile plus courte, 1 mm de long, à glumelles finement crustacées, lisses, brillantes, jaune pâle.

Très petite espèce endémique, qui passe souvent inaperçue. Elle se trouve sur les plateaux (régions d'Antsirabe, Tananarive, lac Alaotra), et pousse dans des stations humides, inondées temporairement : bords de marais, jachères de rizières. Elle a deux ports nettement différents suivant l'humidité relative de la station. Elle forme de petits coussinets sur les stations plus sèches et est plus allongée, à chaumes ramifiés et dressés en station humide. Elle fleurit de juin à octobre.

4. **S. indica** (Linn.) Chase (fig. 112).

Herbe annuelle, cespiteuse ; chaumes grêles, simples ou ramifiés, dressés, de 25-50 cm de haut. Feuilles à limbes linéaires, minces, plans, atteignant jusqu'à 8 cm de long sur 4-5 mm de large, glabres sauf derrière la ligule où ils sont finement pubescents ; ligule représentée par une très courte membrane tronquée, ciliolée faiblement au sommet.

Inflorescences longuement exsertes, en faux épis cylindriques, denses, de 2-5 cm de long. Epillets un peu comprimés latéralement, asymétriques, fortement arrondis sur le dos, de 2,3-2,8 mm de long, glabres, vert-clair, parfois teintés de rose violacé au sommet ; glume inférieure atteignant la moitié de la longueur de l'épillet, à 3-5 nervures saillantes, glume supérieure de la longueur de l'épillet, fortement concave, à 9 nervures saillantes, un peu épaissie à la base où les nervures sont plus fortes ; fleur inférieure stérile, lemma ressemblant à la glume supérieure, assez nettement gibbeuse à la base, à 7 nervures saillantes ; fleur supérieure fertile, petite, 1,2-1,3 mm de long, ovée aiguë, à glumelles crustacées, pâles, lisses, brillantes.

Cette espèce n'a été que récemment récoltée à Madagascar et son aire de répartition est encore peu connue. Elle est assez fréquente sur la côte Est (Tamatave, Fénérive) où on la trouve aux bords des routes, dans des endroits frais et humides. Elle a tendance à devenir une adventice dans certaines cultures : canne à sucre, caféiers. Elle a aussi été trouvée dans l'Ouest, sur les alluvions du Kamoro, à Ambato-Boeni, et près de Mandritsara. Les caractères donnés ici sont ceux des échantillons malgaches. Les plantes asiatiques ont une gamme beaucoup plus grande de variations : taille, pilosité, coloration des épillets, longueur et densité de l'inflorescence. Floraison d'octobre à décembre.

$2n = 18$ (Tateoka).

5. **S. Viguieri** A. Camus (fig. 116).

Herbe pérenne, à rhizome ligneux, court ; chaumes dressés, simples, rarement ramifiés aux nœuds inférieurs, pouvant atteindre 1 m de long (plus souvent 40-50 cm). Feuilles de la base à gaines plus amples, nervées transversalement, brun clair ou teintées de violacé ; limbes filiformes enroulés, rarement plans, de 5-16 cm de long, glabres, terminés en pointe scabérule ; ligule représentée par une membrane courte, tronquée, de 1-1,5 mm de haut.

Inflorescences en faux épis cylindriques denses, souvent interrompus, pouvant atteindre 20 cm de long sur 4-5 mm de diamètre (souvent plus courts : 5-6 cm), longuement exserts sur des pédoncules grêles ; ramifications dressées, accolées à l'axe principal auquel celles de la base sont soudées sur une partie de leur longueur ; épillets ovés, de 2-2,5 mm de long, glabres, presque symétriques, souvent teintés de violacé ; glume inférieure atteignant la moitié de la longueur de l'épillet ou un peu plus, 5-nervée ; glume supérieure de la longueur de l'épillet, concave, arrondie sur le dos, à 7 nervures saillantes ; fleur inférieure stérile, plus rarement ♂, à lemma semblable à la glume supérieure ; fleur supérieure fertile, plus courte, 1,5 mm de long, ovée aiguë, à glumelles crustacées, lisses, brillantes, brun clair.

Herbe endémique, hygrophile, commune sur les plateaux entre 1 000 et 1 500 m d'altitude. Elle occupe des bas-fonds marécageux, d'anciennes rizières, mais n'est jamais très abondante. C'est un bon fourrage, mais peu productif.

6. **S. auriculata** Stapf (fig. 115).

Herbe pérenne, cespiteuse ; chaumes dressés, parfois genouillés à la base, s'enracinant et se ramifiant aux nœuds inférieurs, moyennement robustes, ayant de 0,40 à 1 m de haut. Feuilles à gaines très nettement auriculées au sommet, auricules de 1,5 à 3 mm de long ; limbes linéaires, atteignant 15-20 cm de long sur 3-4,5 mm de large (souvent plus petits), plans, régulièrement rétrécis sur la base où ils sont plus étroits que la gaine, glabres, sauf derrière la ligule où ils sont ciliolés papilleux, à nervure médiane forte, carénée dorsalement ; ligule membraneuse tronquée, de la longueur des auricules, auxquels elle se raccorde.

Inflorescences en faux épis cylindriques denses, continus ou plus ou moins interrompus, de 4-10 cm de long sur 6-7 mm de diamètre, longuement exserts ; ramifications dressées, soudées à l'axe principal sur la plus grande partie de leur longueur. Epillets ovés, un peu asymétriques et comprimés latéralement, de 3,2-4 mm de long, arrondis et gibbeux sur le dos, jaune pâle, souvent teintés de vert sombre et de rose violacé ; glume inférieure atteignant la moitié de la longueur de l'épillet ou un peu plus, 5-nervée ; glume supérieure de la taille de l'épillet, très concave, pileuse (poils fins à base faiblement tuberculée, entre les nervures), à moitié supérieure herbacée et verte, moitié inférieure parfois un peu épaissie, jaune, 7-9 nervures saillantes ; fleur inférieure stérile, lemma ressemblant à la glume supérieure, 9-nervée, garnie de la même pilosité ; fleur supérieure fertile, plus courte, 2-2,2 mm de long, ovée lancéolée, à glumelles finement crustacées, blanchâtres, lisses et brillantes.

Espèce africaine, commune à Madagascar sur les plateaux au-dessus de 800-900 m d'altitude. C'est une plante de stations humides : bas-fonds, prairies marécageuses. Elle n'est jamais très abondante en un même lieu. Souvent, beaucoup d'épillets avortent et restent de petite taille. Les variations des échantillons africains semblent plus grandes, les épillets peuvent être glabres, chose que nous n'avons pas noté pour l'instant à Madagascar. Son intérêt en tant que fourrage est réduit.

7. **S. africana** Hubb. et Snowd. (fig. 116).

Nom malgache : Tsiparifary.

Herbe pérenne, rhizomateuse, robuste, aquatique ou semi-aquatique ; tiges épaisses mais molles et spongieuses, prostrées à la base et développant aux nœuds inférieurs un chevelu dense de racines adventives, atteignant 1,50 m de long sur 8 mm de diamètre (parfois aussi beaucoup plus grêles), nœuds larges et noirâtres, glabres. Feuilles de la base à gaines amples, à nervation transversale nette ; limbes linéaires, atteignant 20-22 cm de long sur 8-10 mm de large (souvent plus petits), plans, glabres ; ligule membraneuse, tronquée, glabre, de 1-1,8 mm de haut.

Inflorescences exsertes, en faux épis cylindriques, denses, pouvant atteindre 25 cm de long ; ramifications courtes, soudées à l'axe principal sur presque toute leur longueur. Epillets ovés oblongs, de 2,8-3,5

mm de long, aplatis dorsiventralement, à dos à peine arrondi, jaune verdâtre et à sommet vert sombre, toujours glabres ; glume inférieure très mince, atteignant 1/3 de la longueur de l'épillet (ou un peu plus), à 5-7 nervures fines non saillantes ; glume supérieure de la longueur de l'épillet, à 9 nervures saillantes ; fleur inférieure stérile, lemma identique à la glume supérieure, un peu plus étroite, 9-nervée ; fleur supérieure fertile plus courte, 2-2,5 mm de long, à glumelles crustacées, lisses, brillantes, blanchâtres ou jaune pâle.

Plante africaine, commune dans toute l'île, au bord des eaux, dans les marais. C'est aussi une adventice fréquente en rizières où elle n'est pas très gênante. On peut la considérer comme un bon fourrage mais elle produit peu.

$2n = 18$ (Tateoka).

PANICUM Linn.

Très grand genre comprenant de nombreuses espèces réparties dans les régions tropicales et subtropicales, quelques-unes en zones tempérées. Nous avons retenu 19 espèces comme étant communes ou assez communes à Madagascar.

Ce genre est caractérisé par des inflorescences en panicules grandes et lâches, ramifiées, plus rarement un peu contractées, des épillets non gibbeux, solitaires, pédicellés, mutiques, non comprimés latéralement, sans soies à leur base.

CLÉ DES ESPÈCES

1. Fleur supérieure fertile à glumelles nettement ridées transversalement.
   2. Epillets glabres. Plante robuste, de 1,5-2,5 m de haut (ou plus). Panicules de 15-70 cm de long.

      1. *P. maximum*

   2. Epillet pubescent. Plante plus petite, de 40-80 cm de haut (rarement plus). Panicules de 10-25 cm de long.

      2. *P. mahafalense*

1. Fleur supérieure fertile à glumelles lisses ou parfois un peu verruqueuses mais non ridées transversalement.
   3. Axe de l'inflorescence et ses ramifications, ainsi que les gaines foliaires, portant de longs poils à sommet épaissi glanduleux. Plante de station humide.

      3. *P. glanduliferum*

   3. Axe de l'inflorescence et ses ramifications, gaines foliaires, glabres ou pileux mais poils non épaissis glanduleux au sommet.
      4. Glume inféricure aussi longue ou presque que l'épillet.
         5. Epillets de 1,5-2 mm de long.
            6. Limbe foliaire lancéolé ou ové lancéolé, plan, arrondi et embrassant à la base. Petite herbe molle de station ombragée, à tige couchée.

               4. *P. brevifolium*

6. Limbe foliaire étroit, filiforme. Plante cespiteuse de station marécageuse.

5. *P. Decaryanum*

5. Epillets de 2-3 mm de long.

7. Panicules lâches, étalées, de 10-25 cm de long. Epillets de 2-2,5 mm de long. Plante à chaumes grêles, ramifiés, grimpants, pouvant atteindre 1-2 m de long.

6. *P. ambositrense*

7. Panicules étroites, de 2-8 cm de long, à rameaux dressés. Epillets de 2,5-3 mm de long. Plante à chaumes ne dépassant pas 70 cm de long.

7. *P. Perrieri*

4. Glume inférieure nettement plus courte que la longueur de l'épillet.

8. Epillets de 1,2-2 mm de long.

9. Plante grêle, grimpante ; épillets très petits, 1,2-1,5 mm de long, agglomérés en têtes denses au sommet des ramifications très grêles de l'inflorescence. Plante de la zone forestière humide.

8. *P. uvulatum*

9. Plantes cespiteuses ou stolonifères rampantes ; épillets de 1,3-2 mm de long plus régulièrement disposés.

10. Glume inférieure ne dépassant pas 1/3 de la longueur de l'épillet, souvent plus réduite, arrondie au sommet, sans nervation nette.

9. *P. umbellatum*

10. Glume inférieure de la moitié ou plus de la longueur de l'épillet, aiguë au sommet, 1-5-nervée.

11. Feuilles lancéolées ou linéaires lancéolées, de 0,8-2,8 cm de long, d'abord dressées et appliquées contre les tiges, puis étalées et pouvant être réfléchies. Petite plante de stations marécageuses, à rhizomes et stolons grêles, couchés.

10. *P. parvifolium*

11. Feuilles linéaires, plus longues ; plantes de port différent.

12. Epillets plus ou moins pileux ; feuilles filiformes.

5. *P. Decaryanum*

12. Epillets glabres ; feuilles à limbes plans ou à bords enroulés, mais non filiformes.

13. Annuelle, glume inférieure atteignant les 3/4 de la longueur de l'épillet.

11. *P. walense*

13. Pérennes, glume inférieure environ 1/2 de la longueur de l'épillet.

14. Epillets de 1,8-2,5 mm de long.

12. *P. luridum*

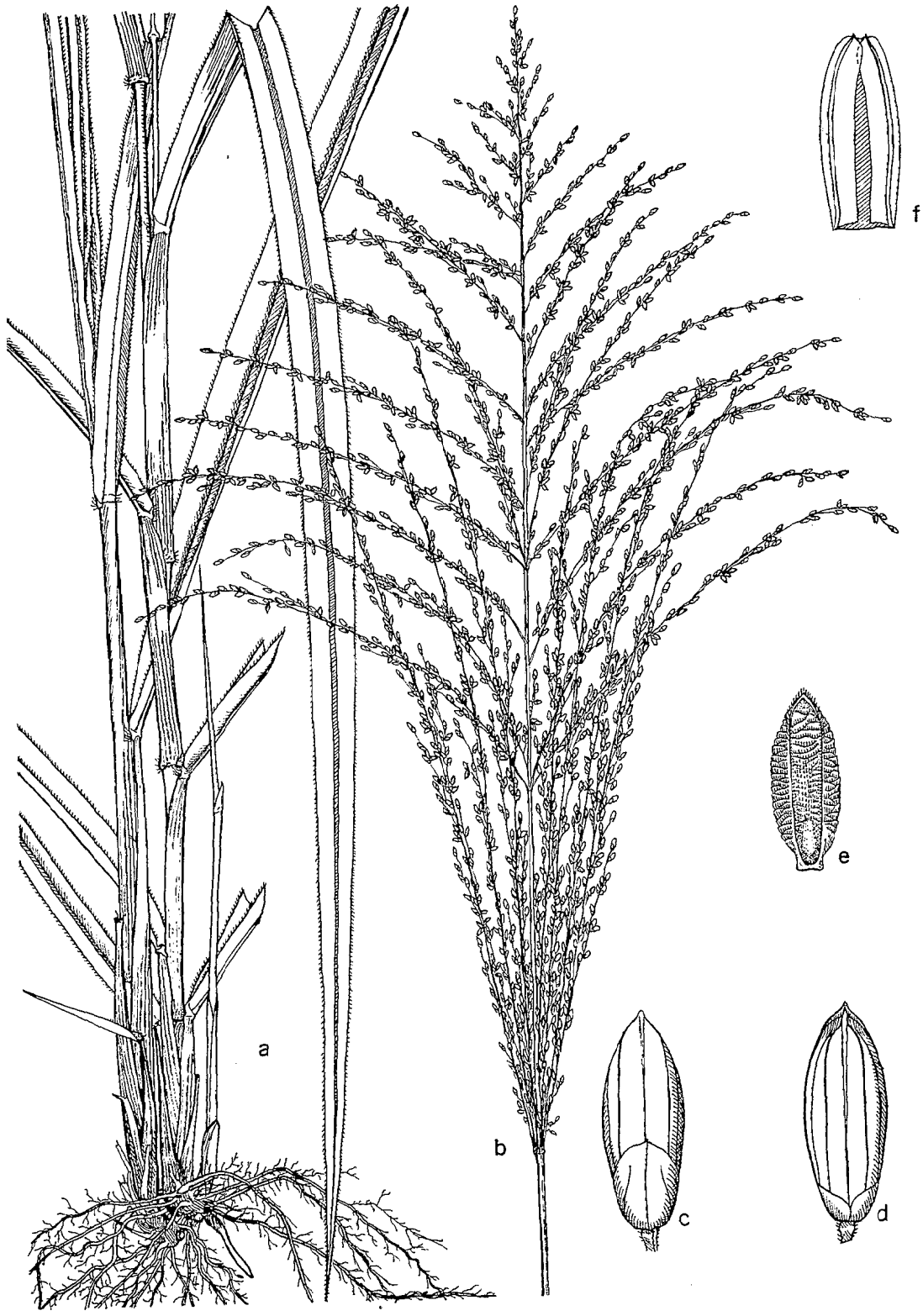
14. Epillets de 1,3-1,7 mm de long.

15. Plante cespiteuse, non stolonifère.

13. *P. Voeltzkowii*

15. Plante stolonifère.

14. *P. pseudovoeltzkowii*


a
b
c
d
e
f

8. Epillets de 2-3 mm de long.

16. Plante à tiges ramifiées, couchées sur le sol ou grimpant dans les plantes voisines ; axe de l'inflorescence et sommet des pédicelles hirsutes. Epillet de 3 mm, à glume inférieure courte (1/6 à 1/4 de la longueur de l'épillet), sans nervure.

15. *P. trichocladum*

16. Plantes cespiteuses ou stolonifères n'ayant pas cet ensemble de caractères.

17. Sommet du pédicelle des épillets portant des poils sétacés plus ou moins nombreux, formant un pseudo-involucre autour de la base de l'épillet.

16. *P. cinctum*

17. Sommet du pédicelle des épillets glabre.

18. Annuelle ; chaumes pileux et hérissés sous les nœuds et sous l'inflorescence.

17. *P. novemnerve*

18. Pérenne ; chaumes glabres.

19. Plante basse, à stolons couchés et enracinés aux nœuds ; chaumes florifères ne dépassant pas 40 cm de haut.

12. *P. luridum*

19. Plantes cespiteuses, non stolonifères, plus robustes ; chaumes ayant de 40 cm à 1 m de haut (ou plus).

20. Epillets de 2-2,5 mm ; glume inférieure de la 1/2 de la longueur de l'épillet, ou plus longue ; chaumes relativement grêles, compacts.

18. *P. Dregeanum*

20. Epillets de 2,5-3 mm ; glume inférieure ne dépassant pas 1/4 de la longueur de l'épillet ; chaumes le plus souvent épais, mous et spongieux.

19. *P. subalbidum*

1. **P. maximum** Jacq. (fig. 118).

Noms malgaches : Fataka, Verotsanga, Fantaka, Famoa, Tsimparifary.

Nom créole (La Réunion, île Maurice) : Fataque.

Nom français : Herbe de Guinée.

Noms anglo-saxons : Guinea grass, Buffels grass (Afrique du Sud).

Grande herbe pérenne, en touffes parfois puissantes ; chaumes robustes, dressés, glabres, pouvant atteindre 3-4 m de haut, plus souvent 1,5-2 m ; nœuds glabres ou pileux. Feuilles glabres ou plus ou moins

---

FIG. 118. — *Panicum maximum* Jacq. : a, fragment de la base d'une plante ; b, inflorescence jeune, rameaux inférieurs non étalés (longue de 15 - 70 cm) ; c, épillet, face ventrale (long de 3 - 4 mm) ; d, épillet face dorsale ; e, fleur supérieure fertile face ventrale ; f, paléa de la fleur inférieure.


a
b
c
d
e
f
g
h

pileuses ; limbes linéaires rubanés, de 30-80 cm de long (parfois plus) sur 1-4 cm de large, plans, souvent avec une zone de longs cils raides derrière la ligule ; ligule représentée par une membrane tronquée, ciliolée au sommet.

Inflorescences en grandes panicules terminales, pyramidales, de 15-70 cm de long sur 10-25 cm de large ; ramifications dressées puis étalées, nombreuses, celles de la base plus longues, habituellement de 10-25 cm, mais pouvant atteindre 40 cm, verticillées, elles mêmes plusieurs fois divisées ; pédicelles des épillets grêles et assez courts. Epillets oblongs, de 3-4 mm de long, peu aigus au sommet, un peu turgides, verts, vert olive ou assez souvent teintés de violacé ; glume inférieure, largement ovée, embrassant la base de l'épillet, et atteignant 1/4 à 1/3 de la longueur, le plus souvent 1-3-nervée ; glume supérieure de la taille et de la forme de l'épillet 5-nervée ; fleur inférieure ♂, à lemma semblable à la glume supérieure, 5-7-nervée ; fleur supérieure, ♀, oblongue, aiguë au sommet, aussi longue que l'épillet ou presque, à glumelles crustacées, nettement ridées transversalement.

Herbe originaire d'Afrique tropicale, maintenant répandue dans toutes les régions chaudes où elle a été introduite. Elle est commune dans tous les domaines géographiques de Madagascar. On la trouve au bord des routes, aux alentours des villages, sur les anciennes jachères. Dans les régions plus sèches de l'Ouest et du Sud, elle est surtout fréquente sur les alluvions des rivières et dans des bas-fonds humides. Sur les alluvions, elle peut donner, naturellement, des peuplements denses, localisés. Elle s'introduit occasionnellement dans les savanes à *Hyparrhenia* sur de bons sols. C'est une bonne plante fourragère, à l'état jeune, dont la culture a été souvent préconisée en régions tropicales. Elle se multiplie surtout par éclats de souche, car elle ne graine pas régulièrement, ce qui est un handicap pour son extension. Les épillets sont parfois attaqués par un charbon. C'est une plante exigeante qui ne donne des rendements intéressants que sur sols profonds et fertiles.

Panicum maximum est un complexe, dont les individus sont assez variables et où il existe différentes lignées.

D'après R. BOST, cette plante est utilisée en décoction contre les maladies de foie.

$2n = 18$ (de Wet), 32 (Moffett et Hurcombe, Tateoka), 36 (Burton, Darlington et Janaki-Ammal).

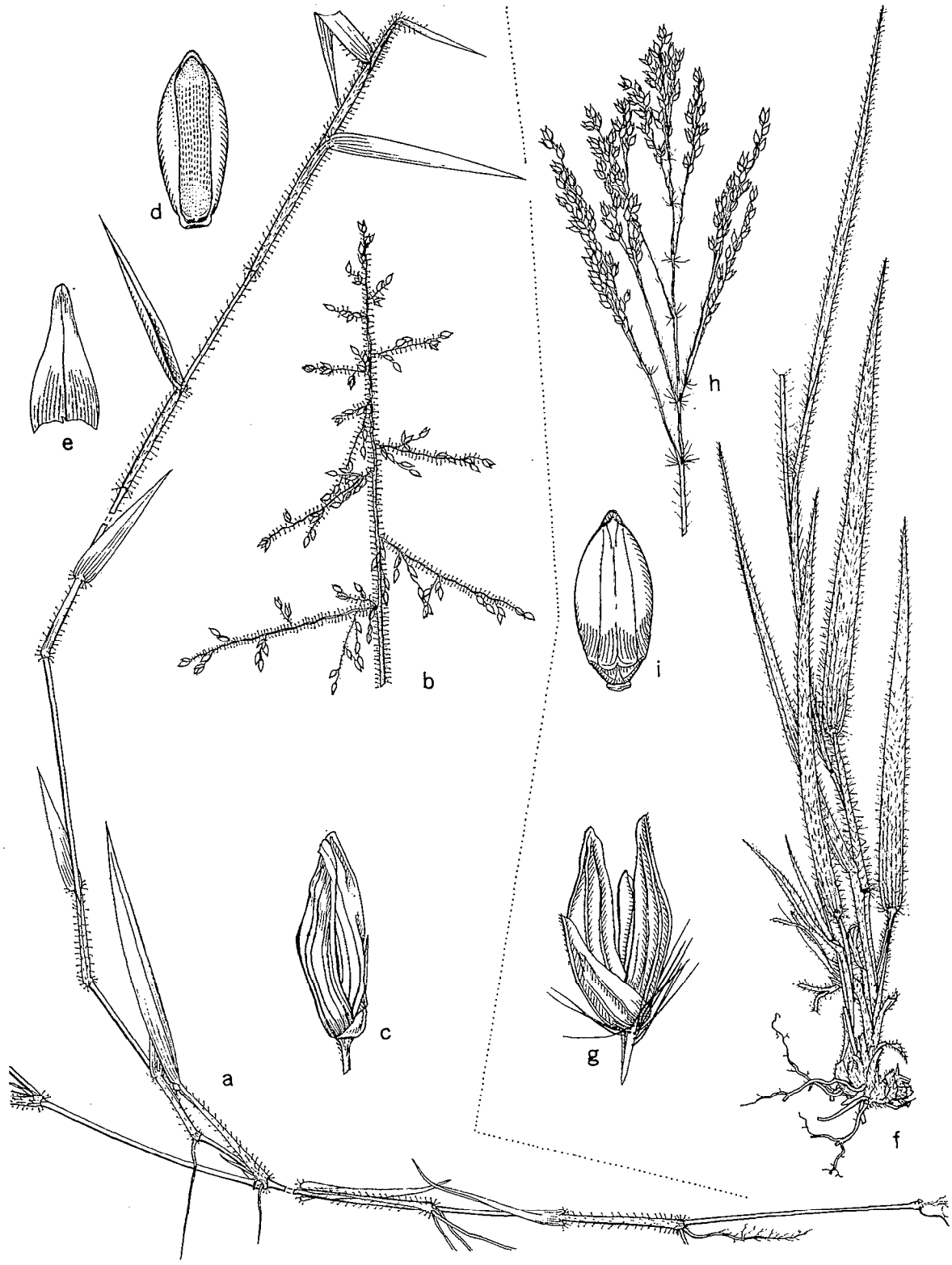
2. **P. mahafalense** A. Camus (fig. 119).

Noms malgaches : Ahimanara (Sud-Ouest), Ahibelo.

Herbe pérenne, cespiteuse ; chaumes dressés parfois genouillés à la base, ayant de 40-80 cm de haut (rarement plus élevés), moyennement robustes, simples ou ramifiés aux nœuds inférieurs, comprimés, glabres, nœuds glabres. Feuilles à gaines comprimées, glabres, limbes linéaires, plans ou à marges enroulées rétrécis sur la base, ayant de 15-40 cm de long sur 2-10 mm de large, glabres ou munis dans leur partie basale de poils fins épars, tuberculés au pied ; ligule représentée par une membrane courte, tronquée, ciliolée.

Inflorescences en panicules ovées, parfois grêles, ayant de 10-25 cm de long, à rameaux d'abord dressés puis étalés, ceux de la base verticillés, ayant 5-15 cm de long ; pédicelles des épillets très grêles et flexueux, inégaux, pouvant atteindre 1 cm de long. Epillets épars, oblongs, un peu aigus au sommet, de 2,5-3 mm

FIG. 119. — *Panicum Decaryanum* A. Camus : a, fragment de la base d'une plante ; b, inflorescence (longue de 5 - 10 cm) ; c, épillet, vue latérale (long de 1,5 - 1,8 mm) ; d, fleur supérieure fertile, face ventrale. — *Panicum mahafalense* A. Camus : e, fragment de la base d'une plante ; f, inflorescence (longue de 10 - 25 cm) ; g, épillet, face ventrale (long de 2,5 - 3 mm) ; h, fleur supérieure fertile, face ventrale.


a
b
c
d
e
f
g
h
i

de long, turgides, vert olive ou pourpre, très semblables à ceux de *Panicum maximum*, mais à glumes et lemma de la fleur inférieure pubescentes.

Espèce endémique de la zone subaride du Sud, remontant dans l'Ouest jusqu'au Mangoky. C'est une plante héliophile ou d'ombre légère qui croît dans des stations très sèches : sables, calcaires. Elle n'est rencontrée que sporadiquement.

3. **P. glanduliferum** Schum. (fig. 120).

Nom malgache : Kiahipody.

Herbe pérenne, rhizomateuse, à chaumes faibles, pouvant atteindre 1-2 m de long, couchés, radicants et ramifiés aux nœuds, ou grimpant en s'appuyant sur les plantes voisines, portant sous les nœuds et sous l'inflorescence des poils glanduleux à sommet dilaté, mêlés parfois à des poils fins non glanduleux ; nœuds pubescents. Feuilles à gaines le plus souvent munies de poils glanduleux à base tuberculée (ces poils étant finalement caduques, les tubercules basaux subsistant seuls sur les vieilles gaines) ; limbes linéaires ou linéaires lancéolés, de 1-10 cm de long sur 1-7 mm de large, plans, finalement étalés et réfléchis, glabres ou un peu pileux derrière la ligule, face inférieure portant parfois des poils glanduleux épars ; ligule réduite à un très court rebord ciliolé.

Inflorescences en panicules ovées de 4-10 cm de long sur 2-6 cm de large ; ramifications grêles, divisées dès la base ou près de la base, les plus longues atteignant 4-5 cm ; axe de l'inflorescence et ses ramifications munis de deux types de poils, les uns fins non glanduleux, les autres renflés en massue au sommet, glanduleux. Epillets solitaires ou géminés et alors l'un brièvement pédicellé, l'autre à pédicelle plus long, de 2-4 mm. Epillets elliptiques, glabres, vert pâle ou teintés de violacé, de 2-2,8 mm de long ; glume inférieure lancéolée étroite, atteignant 1/3 ou 1/2 de la longueur des épillets, 1-nervée ; glume supérieure, de la longueur de l'épillet, 5-9-nervée ; fleur inférieure vide, lemma semblable à la glume supérieure ; fleur supérieure ♀, un peu plus courte ou presque aussi longue que l'épillet, elliptique aigue, à glumelles finement crustacées, pâles, lisses.

Espèce endémique, aisément reconnaissable à son port et à son inflorescence pileuse glanduleuse sur les axes. C'est une plante hygrophile de stations très humides : bords de marais (où elle est souvent associée avec *Cyperus latifolius* Poir., *Ethulia conyzoïdes* Linn., *Cyclosorus gongylodes* (Schkuhr.) Link). prairies marécageuses. Elle est répandue dans les bas fonds humides de la zone Est des plateaux, et est moins fréquente dans la partie Ouest. Elle n'existe pas dans les parties sèches de Madagascar (Sud et Ouest).

$2n = 36$ (Tateoka).

4. **P. brevifolium** Linn. (fig. 121).

Nom malgache : Ahipody.

Herbe annuelle à tiges faibles, traînant sur le sol, radicantes et ramifiées aux nœuds ; chaumes florifères genouillés et ascendants, de 20-50 cm de haut, glabres, parfois violacés. Feuilles à limbes plans, mous, lancéolés ou ovés lancéolés, de 2-8 cm de long sur 7-27 mm de large, largement arrondis et embrassant la tige à la base, glabres ou lâchement pubescents ; ligule représentée par une très courte membrane tronquée.

FIG. 120. — *Panicum glanduliferum* Schum. : a, base d'un chaume ; b, inflorescence (longue de 4 - 10 cm) ; c, épillet, vue latérale (long de 2 - 2,8 mm) ; d, fleur supérieure fertile, face ventrale ; e, glume inférieure. — *Panicum cinctum* Hack. : f, fragment de la base d'une plante ; g, épillet, vue latérale (long de 2 - 3 mm) ; h, inflorescence (longue de 3 - 18 cm) ; i, fleur supérieure fertile (dos).


a
b
c
d
e
f
g
h
i
j

Inflorescences en panicules ovées, lâches, à base d'abord engainée par la dernière feuille, puis assez nettement exsertes, atteignant 5-15 cm de long sur 2,5-12 cm de large ; ramifications grêles, solitaires ou irrégulièrement rapprochées, divisées ; pédicelles des épillets capillaires, flexueux, de longueur variable : 0,7-12 mm. Epillets petits, ovés aigus, de 1,5-2 mm de long, glabres ou pileux, vert sombre ou pourprés, aplatis ventralement et bombés sur le dos ; glumes peu inégales, l'inférieure un peu plus courte que l'épillet ou presque aussi longue, étroite, 3-nervée, la supérieure de la taille de l'épillet 5-nervée ; fleur inférieure ♂ ou vide, lemma assez semblable à la glume supérieure mais aplatie sur le dos, 5-nervée ; fleur supérieure, ♀, ovée aigue, un peu plus courte que l'épillet, glumelles chartacées à crustacées, lisses, pâles.

Espèce commune en Afrique et en Asie, fréquente aussi en zone forestière à Madagascar, dans l'Est et le Sambirano. Elle monte en altitude jusqu'à 1 100-1 300 m. C'est une plante d'ombre légère, que l'on trouve en lisière de la forêt, mais qui, sous climat humide à déficit de saturation faible, croît également à découvert. Elle est adventice dans certaines cultures : bananeraies, plantations de canne à sucre, de caféiers ; et elle est parfois très abondante, formant des tapis denses sur l'emplacement des « tavy » (brûlis de forêt) laissés en jachères. Elle est absente de la forêt semi-décidue de l'Ouest, mais peut se trouver dans des bas-fonds humides et ombragés (raphières).

$2n = 36$ (Tateoka).

5. **P. Decaryanum** A. Camus (fig. 119).

Herbe pérenne, cespiteuse ; chaumes grêles, dressés, simples, glabres, de 20-70 cm de haut. Feuilles à limbes linéaires filiformes, à marges le plus souvent enroulées, ayant de 5-15 cm de long sur 1-2 mm de large, glabres ou longuement pileux à la base de la face supérieure ; ligule représentée par une très courte membrane glabre.

Inflorescences en panicules exsertes sur un pédoncule grêle, ovées, de 5-10 cm de long ; ramifications solitaires, souvent divisées près de la base, obliquement étalées ; pédicelles des épillets longs : 2-10 mm, flexueux, capillaires, glabres. Epillets petits, ovés ou subglobuleux, un peu aigus et baillant légèrement au sommet, de 1,5-1,8 mm de long, le plus souvent pourpre sombre, plus ou moins pileux ; glume inférieure ovée, atteignant 3/4 à 4/5 de la longueur de l'épillet, 3-5-nervée ; glume supérieure aussi longue ou presque que l'épillet, 5-nervée ; fleur inférieure ♂ ou vide, à lemma semblable à la glume supérieure, un peu plus ample, 5-nervée ; fleur supérieure, ♀, ovée, nettement plus courte que l'épillet (1-1,2 mm), à glumelles finement crustacées, pâles, lemma un peu verruqueuse sur le dos (ce caractère n'est visible qu'à un fort grossissement).

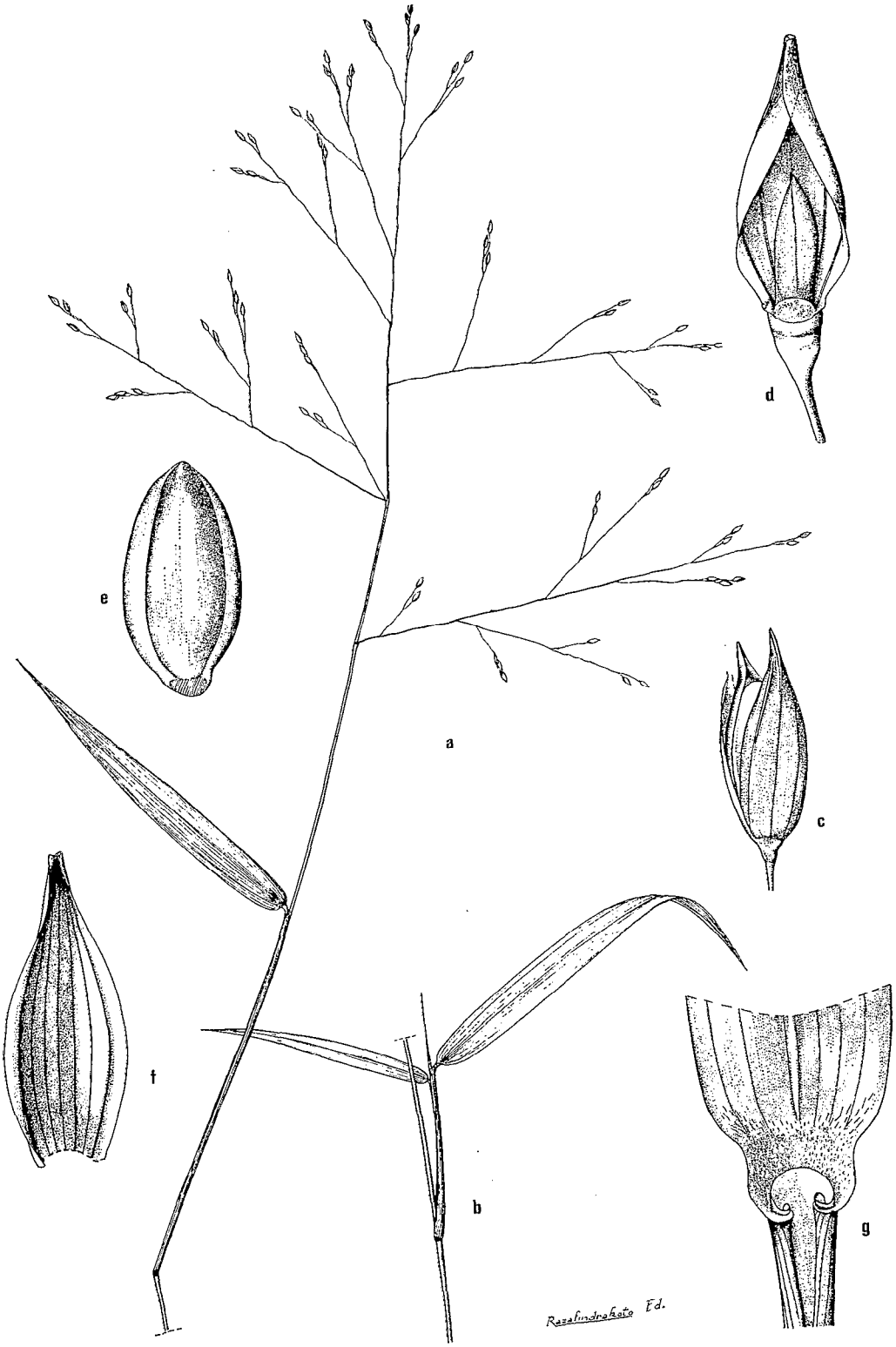
Espèce hygrophile, existant à Madagascar sur les plateaux entre 800 et 1 800 m d'altitude. C'est une plante de marais ou de prairie marécageuse, on la trouve souvent sur des alluvions constituées par une arène grossière, gorgée d'eau. Dans la région d'Ambatofinandrahana-Itremo, elle fait partie d'une savane sur sols sableux, humifères, dérivés de quartzites, temporairement humides. Elle est sans intérêt en tant que fourrage.

6. **P. ambositrense** A. Camus (fig. 122).

Herbe pérenne, grêle, à chaumes faibles, pouvant atteindre 2 m de long, très ramifiés, couchés ou grimpants dans les plantes voisines. Feuilles à limbes linéaires ou linéaires lancéolés, plans, de 5-13 cm

---

FIG. 121. — *Panicum brevifolium* Linn. : a, fragment de la base d'une plante ; b, inflorescence (longue de 5 - 15 cm) ; c, épillet, vue latérale (long de 1,5 - 2 mm) ; d, glume supérieure ; e, glume inférieure ; f, fleur supérieure fertile (dos). — *Panicum uvulatum* Stapf : g, fragment de la base d'une plante ; h, portion d'inflorescence (longueur : jusqu'à 15 cm) ; i, épillet vu de trois quarts, (long de 1,2 - 1,5 mm) ; j, fleur supérieure fertile vue de trois quarts.


a
b
c
d
e
f
g
Razafimahaka Ed.

de long sur 3-10 mm de large, glabres ou pubescents ; ligule réduite à un très court rebord, glabre ou faiblement ciliolé.

Inflorescences en panicules lâches, de 10-25 cm de long, à épillets très dispersés ; ramifications finalement largement étalées, solitaires, celles de la base, plus longues, atteignant 5-15 cm, divisées, les divisions capillaires, longuement nues à leur base et portant seulement quelques épillets au sommet. Epillets ovés lancéolés, de 2-2,5 mm de long, glabres, verts ou teintés de violacé au sommet, glumes subégales, l'inférieure aussi longue ou un peu plus courte que l'épillet, 3-nervée, la supérieure, aussi longue que l'épillet, 5-7-nervée ; fleur inférieure vide, lemma semblable à la glume supérieure 5-nervée ; fleur supérieure, ♀, ovée lancéolée, aiguë, légèrement plus courte que l'épillet, à glumelles crustacées, pâles, lisses.

Espèce endémique, de la zone forestière de moyenne et haute altitude, de l'Est et du Centre. Elle croît jusqu'à 2 000 m. Elle se trouve en lisière et en sous-bois, dans les formations secondaires à *Philippia*. Elle se maintient sur les talus humides aux bords des fossés, et est éventuellement une adventice dans les cultures : caféières, bananeraies. Elle est très proche de *P. Hochstetteri* Steud. d'Afrique avec lequel il faudra peut-être la confondre.

$2n = 36$ (Tateoka)

7. **P. Perrieri** A. Camus (fig. 123).

Herbe pérenne, cespiteuse, à rhizome grêle ; chaumes faibles, couchés sur le sol, de 15-70 cm de long, très grêles, glabres, ramifiés et enracinés aux nœuds inférieurs, puis genouillés ascendants. Feuilles à limbes linéaires aigus, de 2-8 cm de long sur 2-6 mm de large, glabres ou à pilosité lâche sur les deux faces ; ligule réduite à un court rebord membraneux, ciliolé.

Inflorescences en panicules étroites, de 2-8 cm de long, longuement exsertes sur des pédoncules très grêles et glabres ; ramifications dressées, apprimées contre l'axe, ou la basale oblique, solitaires, celle de la base le plus souvent longuement nue dans sa partie inférieure. Epillets rassemblés vers le sommet des ramifications, sur des pédicelles généralement courts (2-3 mm au plus). Epillets étroitement elliptiques aigus, subacuminés, de 2,5-3 mm de long, glabres ou un peu pileux, verts ou tachés de violacé ; glumes subégales, à nervation saillante, aussi longues que l'épillet, l'inférieure 3-5-nervée, plus étroite, la supérieure 7-nervée ; fleur inférieure vide ; lemma très semblable à la glume supérieure ; fleur supérieure, ♀, nettement plus courte que l'épillet, oblongue aiguë, à glumelles crustacées, lisses, d'abord blanchâtres puis brunâtres.

Espèce endémique, assez fréquente sur les plateaux au-dessus de 800 m d'altitude, et jusqu'à 2 000 m et plus. C'est une espèce des lisières de la forêt ombrophile d'altitude qui s'est adaptée à des stations plus éclairées. Elle fait partie de la végétation secondaire à *Philippia* et se rencontre dans des bas-fonds un peu humides, sur des colluvions. Dans le massif de l'Ankaratra, elle est fréquente et est devenue une adventice des cultures sèches (maïs, pomme de terre). Elle entre dans la constitution de la prairie altimontaine à *Pentaschistis Perrieri* et à *Loudetia madagascariensis*.

8. **P. uvulatum** Stapf (fig. 121).

Herbe pérenne (peut-être aussi annuelle) ; chaumes très grêles, glabres, traînant sur le sol, puis genouillés ascendants, grimpant en s'appuyant aux plantes voisines, ayant de 30 cm à 1 m de long (parfois

FIG. 122. — *Panicum ambositrense* A. Camus : a, inflorescence (longue de 10 - 25 cm) ; b, fragment de chaume ; c, épillet (long de 2 - 2,5 mm) ; d, fleur inférieure de l'épillet montrant la lemma et la paléa réduite ; e, fleur fertile ; f, glume supérieure ; g, base d'un limbe et ligule.


a
b
c
d
e
f
g
h

plus), ramifiés aux nœuds et à nombreuses racines adventives. Feuilles à limbes de forme assez variable : lancéolés, linéaires lancéolés à linéaires, de 0,8-9 cm de long sur 3-12 mm de large, plans, mous, glabres ou pileux sur les 2 faces ; ligule représentée par une courte membrane tronquée.

Inflorescences en panicules feuillées, terminales ou axillaires à l'aisselle des 2-5 feuilles supérieures. Panicules de taille très variable, 3-15 cm de long, à ramifications très grêles, glabres, peu nombreuses, d'abord dressées puis très divergentes, longuement nues à la base, les épillets étant agglomérés au sommet en petites têtes ovoïdes de 0,5-1 cm de long. Epillets très petits, de 1,2-1,5 mm, elliptiques aigus, glabres, verts ou teintés de pourpre ; glume inférieure 1/3 à 2/5 de la longueur de l'épillet, 1-nervée ; glume supérieure aussi longue que l'épillet ou un peu plus courte, 3-nervée ; fleur inférieure stérile, réduite à la lemma, semblable à la glume supérieure, 5-nervée ; fleur supérieure ♀, elliptique, obtuse, aussi longue que l'épillet ou presque, à glumelles finement crustacées, lisses et brillantes.

Espèce endémique, commune dans toute la zone forestière humide de l'Est et des plateaux, montant en altitude jusqu'à 2 000 m. C'est une plante de lisières forestières et de sous-bois, qui s'est adaptée à des stations plus éclairées : bords de chemins, talus humides et ombragés ; elle est fréquente sur les défrichements de forêt après les cultures, et dans les plantations arbustives (caféières, bananeraies). Elle a un port très caractéristique dû à ses panicules feuillées et à ses petits épillets groupés à l'extrémité des ramifications. Elle est en fleurs toute l'année.

9. **P. umbellatum** Trin. (fig. 124).

Nom malgache : Volonondry, Fandridahy.

Nom créole : Gazon chinois (Ile Maurice).

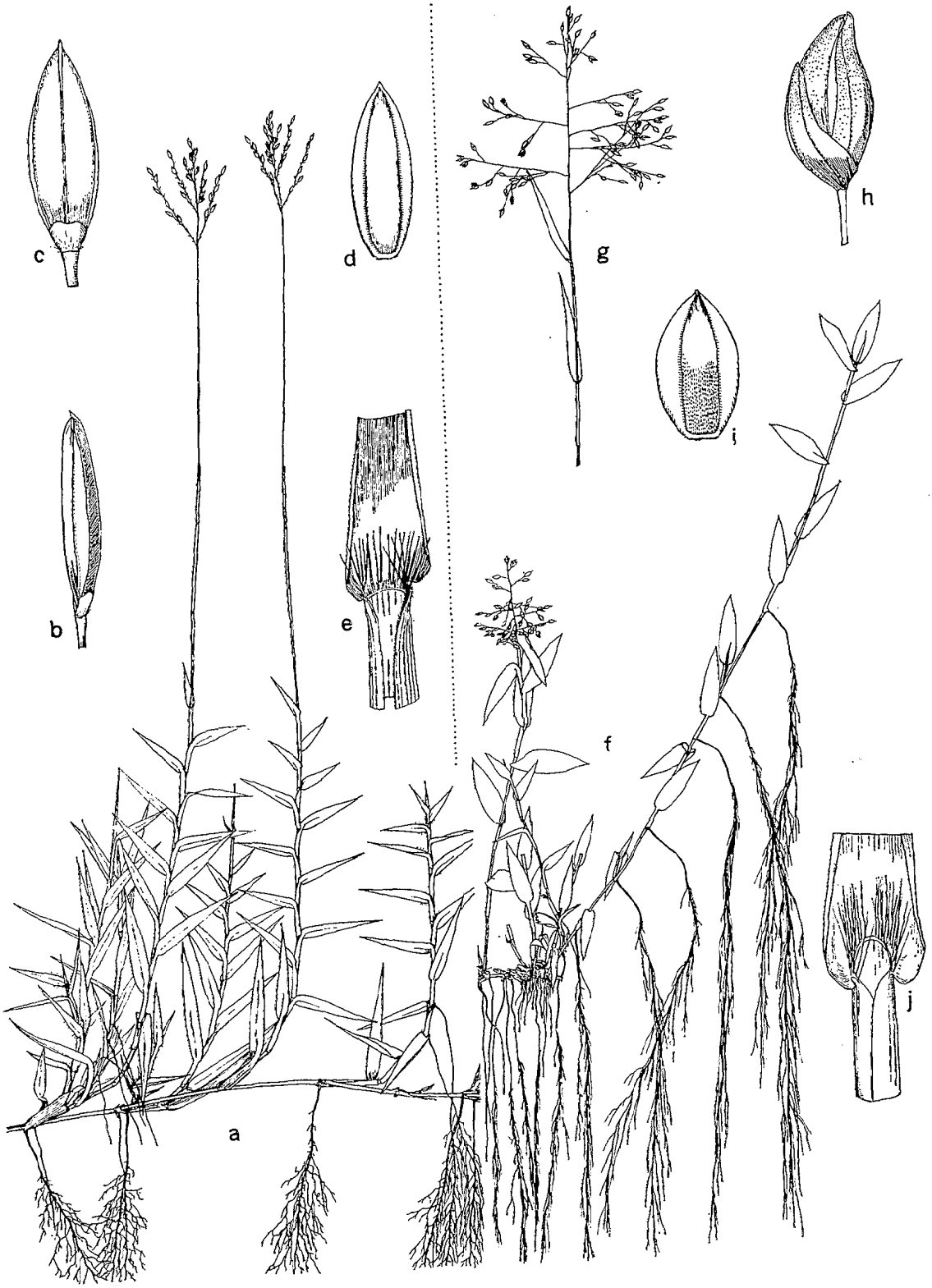
Herbe pérenne, stolonifère, gazonnante, abondamment ramifiée et enracinée aux nœuds ; chaumes florifères grêles, dressés, de 8-30 cm de haut, en général glabres. Feuilles à limbes lancéolés ou linéaires lancéolés, de 1-4 cm de long sur 1-6 mm de large, plans ou à marges enroulées, glabres à densément veloutés pubescents, et quelquefois munis de poils raides à base tuberculée ; ligule représentée par une ligne de poils denses et courts.

Inflorescences en panicules terminales nettement exsertes, largement ovées, de 1,5-5,5 cm de long sur 1-5 cm de large, lâches ou assez contractées, souvent ombelliformes ; ramifications solitaires ou rapprochées subverticillées, obliquement dressées, celles de la base atteignant 5 cm de long, indivises dans leur partie inférieure ; axe de l'inflorescence et ramifications glabres ou à pilosité lâche ; pédicelles des épillets grêles, en général assez courts (1-2 mm). Epillets oblongs aigus, un peu comprimés dorsiventralement, 1,7-2 mm de long, glabres, vert jaunâtre ou plus ou moins pourpres ; glumes très inégales, l'inférieure petite, parfois réduite à une écaille à la base de l'épillet ou pouvant atteindre 1/3 de sa longueur, sans nervure, la supérieure de la taille de l'épillet à 3-5 nervures saillantes ; fleur inférieure vide, réduite à la lemma très semblable à la glume supérieure ; fleur supérieure ♀, de la taille de l'épillet ou légèrement plus courte, oblongue, à glumelles crustacées, lisses, jaunes.

Espèce des Mascareignes et des îles Comores, fréquente à Madagascar surtout sur la côte Est. On peut distinguer dans l'île deux populations, l'une de l'Est et des régions humides, à feuilles glabres, l'autre de l'Ouest, de stations plus sèches, à feuilles très pileuses, soyeuses, des formes un peu intermédiaires se

---

FIG. 123. — *Panicum novemnerve* Stapf : a, base d'une plante ; b, inflorescence (longue de 10 - 20 cm) ; c, épillet, vue latérale (long de 2 - 2,5 mm) ; d, fleur supérieure fertile, face ventrale. — *Panicum Perrieri* A. Camus : e, fragment de la base d'une plante ; f, inflorescence (longue de 2 - 8 cm) ; g, épillet, vue latérale (long de 2,5 - 3 mm) ; h, fleur supérieure fertile, face ventrale.


a
b
c
d
e
f
g
h
i
j

trouvant sur les plateaux. Deux sous-espèces ont pu ainsi être distinguées : la plante typique : *P. umbellatum* subsp. *umbellatum* qui est la plante de l'Est et *P. umbellatum* subsp. *nossibense* A. Camus de l'Ouest. La première occupe des sables stabilisés, en arrière des premières dunes, le long de la côte, des colluvions un peu humides et aussi des collines à sols ferrallitiques pas très érodés. Elle forme souvent un gazon dense et ras couvrant parfaitement le sol et où les autres plantes s'introduisent difficilement. Elle donne un pâturage court, utilisé par les animaux. La seconde est moins fréquente, on la trouve sur des bas de pentes un peu humides où elle gazonne, mais aussi sous forme de pieds isolés dans les savanes herbeuses à *Heteropogon contortus*, mais elle est là peu fréquente. Elle est indiquée, à l'île Maurice, comme étant une plante pionnière sur sol nu et sur les laves. On pourrait aussi, dans certaines conditions, l'utiliser pour maintenir les sables.

$2n = 18$ (Tateoka).

10. **P. parvifolium** Lamk. (fig. 124).

Petite herbe pérenne, stolonifère ; stolons grêles, glabres, couchés, enracinés et ramifiés aux nœuds ; chaumes florifères genouillés ascendants, ayant de 5-30 cm de haut. Feuilles à limbes lancéolés ou linéaires lancéolés, de 0,8-2,8 cm de long sur 2,5-6 mm de large, plans, arrondis à la base, aigus au sommet, vert glauque parfois violacés dessous, glabres ou un peu pileux à la base, d'abord dressés, pouvant ensuite être étalés ou même réfléchis.

Inflorescences en panicules petites, ovées, lâches, de 2-4 cm de long sur 1-3 cm de large, peu exsertes, paucispiculées ; ramifications solitaires, obliquement dressées puis étalées et réfléchies ; pédicelles des épillets capillaires, de 1-5 mm de long. Epillets elliptiques aigus, de 1,3-1,8 mm de long, glabres ; glumes inégales, l'inférieure 1/2 à 3/4 de la longueur de l'épillet, 3-5-nervée, la supérieure de la taille et de la forme de l'épillet, à 5 nervures un peu saillantes ; fleur inférieure vide, lemma semblable à la glume supérieure ; fleur supérieure ♀, un peu plus courte, à glumelles chartacées à crustacées, lisses et pâles.

Espèce tropicale existant en Amérique et en Afrique, commune aussi à Madagascar dans les zones humides et chaudes de l'Est et subhumides des plateaux et de l'Ouest. C'est une plante hygrophile, croissant dans les bas-fonds marécageux, les tourbières, aux bords des marais, sur certaines arènes quartzeuses gorgées d'eau. Elle est aisément reconnaissable à son port et à ses petites feuilles lancéolées, vert glauque, d'abord dressées puis réfléchies, à ses panicules à ramifications souvent réfléchies.

$2n = 18$ (Tateoka)

11. **P. walense** Mez (=*P. humile* Nees ex Steud.) (fig. 125).

Herbe annuelle, en touffes diffuses ; chaumes dressés, de 10-40 cm de haut, grêles, glabres, ramifiés à presque tous les nœuds, les ramifications terminées par les inflorescences, d'où des touffes abondamment fleuries. Feuilles à limbes linéaires, aigus au sommet, plans, de 3-15 cm de long sur 3-5 mm de large ; ligule représentée par une membrane tronquée, ciliolée et lacérée au sommet.

Inflorescences en panicules ovées, lâches, ayant jusqu'à 12 cm de long (mais pouvant être beaucoup plus petites sur les échantillons mal développés) ; ramifications d'abord dressées puis obliquement étalées, solitaires ou rapprochées et subverticillées, divisées près de la base, les plus longues pouvant atteindre

FIG. 124. — *Panicum umbellatum* Trin. : a, stolons et chaumes fleuris (hauts de 8 - 30 cm) ; b, épillet, vue latérale (long de 1,7 - 2 mm) ; c, épillet, face ventrale ; d, fleur supérieure fertile, face ventrale ; e, base d'un limbe et ligule. — *Panicum parvifolium* Lamk. : f, fragment de la base d'une plante ; g, inflorescence (longue de 2 - 4 cm) ; h, épillet, vue latérale (long de 1,3 - 1,8 mm) ; i, fleur supérieure fertile, face ventrale ; j, base d'un limbe et ligule.


a
b
c
d
e
f
g
h
i

7-8 cm ; pédicelles des épillets très grêles, sinueux, de longueur variable, 1,5-7 mm. Epillets ovés aigus, baillant un peu au sommet, de 1,7-2 mm de long, glabres, souvent rougeâtres ou pourpres ; glume inférieure ovée, aiguë à faiblement acuminée, atteignant les 3/4 de la longueur de l'épillet, 3-nervée ; glume supérieure aussi longue que l'épillet, à sommet un peu comprimé, 5-nervée ; fleur inférieure vide, à lemma semblable à la glume supérieure ; fleur supérieure ♀, un peu plus courte que l'épillet, 1,5 mm de long, oblongue obtuse, à glumelles finement crustacées lisses, brillantes, pâles, puis plus ou moins colorées de gris.

Espèce africaine existant aussi en Asie (Indes) ; assez peu commune à Madagascar. Elle se trouve sous climat subhumide à longue saison sèche (Ouest et partie Ouest des plateaux jusqu'à 1 000 m d'altitude environ).

Elle a une tendance hygrophile et affectionne les bas-fonds un peu humides, les bords de marigots, sur des sols sableux ou plus lourds et argileux. Elle pousse parfois en stations plus sèches où elle peut être une adventice des cultures.

12. **P. luridum** Hack. (fig. 125).

Herbe pérenne, stolonifère ; stolons assez souvent en arceaux, enracinés et ramifiés aux nœuds, pouvant atteindre 50 cm de long ; chaumes florifères grêles, dressés, genouillés à la base, glabres, de 10-40 cm de haut. Feuilles glabres ou lâchement pileuses ; limbes linéaires ou linéaires lancéolés, de 2-10 cm de long sur 2-5 mm de large, à marges souvent munies de poils sétacés à base tuberculée ; ligule représentée par une ligne de cils courts.

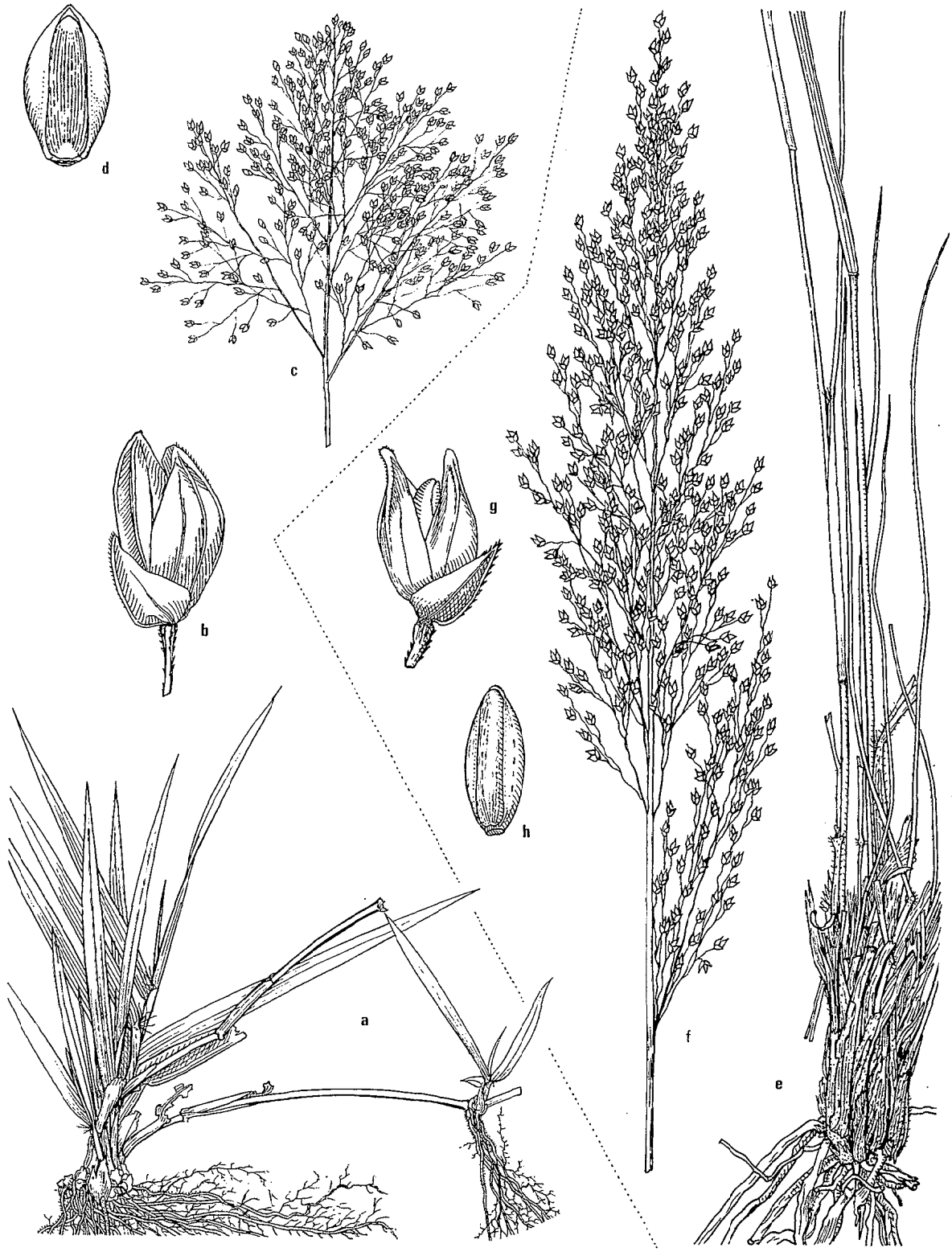
Inflorescences en panicules ovées, de 4-7 cm de long sur 2-5 cm de large, lâches, glabres ; ramifications solitaires ou rapprochées par 2 ou subverticillées, obliquement dressées, celles de la base longuement nues dans leur partie inférieure et pouvant atteindre 5 cm de long. Epillets ovés aigus, de 1,8-2,5 mm de long, baillant au sommet, glabres, le plus souvent teintés de violacé ou de rougeâtre ; glumes inégales, l'inférieure atteignant environ la moitié de la longueur de l'épillet, aiguë au sommet, 1-3-nervée, la supérieure de la taille de l'épillet, 5-nervée ; fleur inférieure ♂, à lemma semblable à la glume supérieure, 5-nervée ; fleur supérieure ♀, un peu plus courte que l'épillet, glumelles pâles, crustacées, lisses, brillantes.

Espèce endémique, commune sur les plateaux. Elle occupe des colluvions un peu fraîches, ou des stations très sèches, érodées, sur sols ferrallitiques. Elle entre ainsi dans la constitution des savanes à *Aristida* où elle est localement assez abondante et peut couvrir plus ou moins le sol entre les touffes des graminées cespiteuses. Elle est aussi très fréquente sur les jachères et est une adventice des cultures sèches : arachide, manioc, maïs. Elle existe aussi dans l'Ouest, mais elle y est plus rare. Elle est broutée par le bétail et donne un fourrage court, peu productif. La floraison est très étalée et on trouve la plante en fleurs pratiquement toute l'année.

13. **P. Voeltzkowii** Mez

Herbe pérenne, cespiteuse, non stolonifère ; chaumes grêles, dressés, de 10-35 cm de haut, simples ou plus souvent ramifiés aux nœuds, les ramifications terminées par une inflorescence (port rappelant celui de *P. walense*). Feuilles à limbes linéaires, plans ou à marges enroulées, de 3-9 cm de long sur 2-5 mm de large, glabres ou pubescents sur la face supérieure ou encore avec quelques longs poils sétacés épars à la base ; ligule représentée par une ligne de poils.

FIG. 125. — *Panicum luridum* Hack. : a, base d'une plante ; b, inflorescence (longue de 4 - 7 cm) ; c, épillet, vue latérale (long de 1,8 - 2,5 mm) ; d, fleur supérieure fertile, face ventrale ; e, base d'un limbe et ligule. — *Panicum walense* Mez : f, fragment de la base d'une plante (haut de 10 - 40 cm) ; g, épillet, vue latérale (long de 1,7 - 2 mm) ; h, fleur supérieure fertile, face ventrale ; i, base d'un limbe et ligule.


d
c
b
g
h
a
f
e

Inflorescences en panicules lâches, ovées, de 2,5-6 cm de long, ramifications solitaires ou rapprochées par 2, obliquement dressées, capillaires, glabres. Epillets subglobuleux, obtus au sommet, de 1,3-1,7 mm de long, glabres, souvent teintés de rose violacé ; glume inférieure, 1/2 de la longueur de l'épillet environ, largement ovée aiguë, 1-3-nervée ; glume supérieure de la taille de l'épillet, 5-nervée ; fleur inférieure ♂, lemma semblable à la glume supérieure, 5-nervée, fleur supérieure ♀, elliptique, subaiguë, un peu plus courte, 1,2-1,3 mm de long, à glumelles crustacées, lisses et brillantes.

Espèce endémique, côtière, qui occupe des sables dunaires ou des bas-fonds salés le long des côtes Ouest et Sud-Ouest, de Madagascar, elle est fréquente par endroits.

14. **P. pseudovoeltzkowii** A. Camus (fig. 126).

Noms malgaches : Ahipody, Ahitoto.

Herbe pérenne, à rhizome court et ligneux, stolonifère non gazonnante, stolons en arceaux, parfois longs de 40-50 cm, s'enracinant et donnant des rejets aux nœuds ; chaumes florifères dressés, grêles, glabres, de 10-40 cm de haut. Feuilles variables, glabres ou pileuses, à limbes plans ou enroulés, de 3-6 cm de long sur 1,5-7 mm de large ; ligule représentée par une ligne de poils assez longs.

Inflorescences et épillets comme *P. Voeltzkowii.*

Espèce endémique, fréquente dans le domaine subaride du Sud. Elle croît en stations sèches, sableuses ou calcaires : bords de routes, dunes, anciennes cultures, clairières dans les fourrés xérophiles dégradés à *Alluaudia*, *Didierea*, Euphorbes. Elle remonte dans l'Ouest, vers le Nord, jusqu'à Morondava et peut dans cette zone, ainsi que dans la partie cristalline de l'Androy, faire partie des savanes à *Heteropogon* et *Aristida*. C'est une plante assez polymorphe, les formes du bord de mer ayant un port plus ramassé des feuilles plus densément pileuses, les formes de l'intérieur ayant des stolons plus longs à entre-nœuds plus longs, des feuilles plus grandes et plus larges (Mlle Camus distingue une var. *latifolia*), mais les caractères de l'épillet et de la panicule restent remarquablement constants. Cette espèce est très proche de *P. Voeltzkowii* Mez qui n'est peut-être qu'une forme croissant en sols salés plus argileux, et n'émettant pas ou très rarement des stolons. Il sera nécessaire de multiplier les observations sur le terrain pour aboutir à une certitude.

Cette plante donne un fourrage court, brouté par le bétail, peu productif.

15. **P. trichocladum** Hack. (fig. 127).

Herbe pérenne, à tiges faibles, rampant sur le sol ou grimpant en s'appuyant aux plantes voisines, ramifiées aux nœuds, glabres ou parfois pileuses sous les nœuds et sous les inflorescences, pouvant atteindre 1,5-2 m de long. Feuilles à limbes linéaires plans, mous, de 3-15 cm de long sur 5-15 mm de large, à base arrondie et sommet aigu, le plus souvent finement et densément pubescents, rarement glabres ou presque ; ligule représentée par une courte membrane ciliolée.

Inflorescences en panicules très lâches et diffuses, ovées, de 5-15 cm de long sur 4-8 cm de large ; ramifications grêles, solitaires ou rapprochées, capillaires et flexueuses, obliquement dressées ou étalées ; axes des panicules et ses ramifications abondamment hérissés de poils sétacés, brillants ; pédicelles des

FIG. 126. — *Panicum pseudovoeltzkowii* A. Camus : a, base d'une souche et fragment de stolon ; b, épillet, profil (long de 1,3 - 1,7 mm) ; c, inflorescence (longue de 2,5 - 6 cm) ; d, fleur fertile. — *Panicum Dregeanum* Nees : e, fragment d'une souche ; f, inflorescence (longue de 10 - 25 cm) ; g, épillet (long de 2 - 2,5 mm) ; h, fleur fertile.


a
b
c
d
e
f
g
h

épillets longs et grêles, munis vers le sommet de poils sétacés. Epillets oblongs, vert pâle ou teintés de violacé, d'environ 3 mm de long, glabres ; glumes très inégales, l'inférieure très petite, atteignant 1/6 à 1/4 de la longueur de l'épillet, sans nervation nette ; la supérieure de la taille et de la forme de l'épillet, à 5 nervures peu visibles ; fleur inférieure ♂, lemma semblable à la glume supérieure ; fleur supérieure, ♀, oblongue, obtuse au sommet, presque aussi longue que l'épillet, à glumelles finement crustacées, lisses.

Espèce de l'Afrique de l'Est et du Mozambique, commune également aux îles Comores, peu fréquente à Madagascar et trouvée sporadiquement dans la partie Nord-Ouest de l'île (région de Diego-Suarez, Sambirano, Nosy Bé). C'est donc une plante de climat chaud et humide. Elle se comporte comme une rudérale. On la trouve aux bords des routes, ainsi que sur les lisières forestières et elle devient adventice dans les cultures sèches : caféières.

Son intérêt en tant que fourrage est médiocre.

$2n = 32$ (Tateoka)

16. **P. cinctum** Hack. (fig. 120).

Herbe pérenne, cespiteuse, à rhizome court ligneux ; chaumes dressés, simples, en général assez grêles, glabres, ayant 15-50 cm de haut ; base des pousses protégées par des feuilles modifiées (cataphylles) courtes, densément pileuses. Feuilles glabres ou plus ou moins densément pileuses, à limbes linéaires, de 3-20 cm de long sur 1,5-5 mm de large, plans ou à marges enroulées, dressés et assez rigides ; ligule réduite à une ligne de poils denses.

Inflorescences en panicules ovées, lâches, très variables, de 3-18 cm de long ; ramifications grêles, glabres, obliquement dressées, solitaires ou rapprochées par deux, celles de la base le plus souvent longuement nues dans leur partie inférieure, atteignant jusqu'à 12 cm de long ; pédicelles des épillets grêles, ayant juste sous le sommet une zone de poils blancs sétacés (parfois quelques poils seulement) formant autour de l'épillet un pseudo-involucre. Epillets ovés aigus, de 2-3 mm de long, finalement baillant au sommet, glabres, verts ou souvent teintés de pourpre ; glumes inégales, l'inférieure 1/2 (ou un peu plus) de la longueur de l'épillet, 3-5-nervée, la supérieure aussi longue que l'épillet ou légèrement plus courte, à 5 nervures un peu saillantes ; fleur inférieure ♂, lemma semblable à la glume supérieure, 5-7-nervée ; fleur supérieure, ♀, plus courte que l'épillet, 1,5-1,8 mm de long, étroitement oblongue, obtuse au sommet, à glumelles pâles, finement crustacées, lisses et brillantes.

Espèce endémique, assez commune sur les plateaux entre 800 et 1 500 m d'altitude ; elle descend vers le Sud jusqu'à l'Isalo. Elle fait partie des savanes dégradées à *Aristida* et *Loudetia*, sur des sols ferrallitiques érodés, secs. On la trouve sous forme de pieds isolés. C'est un fourrage sans intérêt.

17. **P. novemnerve** Stapf (fig. 123).

Herbe annuelle, en touffes diffuses, peu denses ; chaumes genouillés ascendants, de 30-60 cm de haut, le plus souvent pileux, nœuds pileux. Feuilles à gaines hérissées de poils raides à base tuberculée ; limbes linéaires, plans, de 4-20 cm de long sur 4-12 mm de large, glabres, sauf sur les marges et le dos de

FIG. 127. — *Panicum trichocladum* Hack. : a, fragment de la base d'une plante ; b, inflorescence (longue de 5 - 15 cm) ; c, épillet, vue latérale (long de 3 mm) ; d, fleur supérieure fertile, face ventrale. — *Panicum subalbidum* Kunth : e, fragment de la base d'une plante ; f, inflorescence (longue de 15 - 40 cm) ; g, épillet, face ventrale (long de 2,5 - 3 mm) ; h, fleur supérieure fertile, face ventrale.

la nervure médiane où ils portent des poils à base tuberculée ; ligule représentée par une membrane courte, tronquée, ciliée au sommet.

Inflorescences en panicules lâches, diffuses, à axe pileux à la base, engainées dans la dernière feuille quand elles sont jeunes puis peu exsertes, ayant de 10-20 cm de long sur 5-10 cm de large ; ramifications solitaires ou rapprochées par deux, très divisées, obliquement dressées ; pédicelles des épillets, grêles, sinueux, de longueur variable : 1,5-10 mm. Epillets elliptiques aigus, de 2-2,5 mm de long, glabres, jaune pâle ou tachés de violacé, baillant au sommet à maturité ; glumes inégales, l'inférieure, d'environ 1/2 de la longueur de l'épillet, en embrassant la base, 5-nervée, la supérieure de la taille de l'épillet, à 7-9 nervures un peu saillantes ; fleur inférieure vide, lemma semblable à la glume supérieure, 9-nervée ; fleur supérieure ♀, nettement plus courte que l'épillet, 1,7-1,8 mm de long, oblongue, obtuse au sommet, à glumelles crustacées, lisses, jaune pâle puis brunâtres à maturité.

Cette espèce se retrouve en Mozambique et en Afrique du Sud ; elle n'avait pas été signalée jusqu'à présent à Madagascar où elle est confinée au domaine subaride du Sud. C'est une héliophile que l'on trouve en stations sèches, calcaires ou sableuses. Elle remonte sur les plateaux jusqu'aux environs de Betroka et dans l'Isalo. Dans l'ensemble elle est peu fréquente et on ne la rencontre que sporadiquement. Elle fait partie des fourrés dégradés à Didiéracées et Euphorbes, et plus au Nord se comporte comme une rudérale et une adventice des cultures sèches.

18. **P. Dregeanum** Nees (fig. 126).

Herbe pérenne, en touffes denses ; chaumes de grêles à moyennement robustes, dressés, parfois genouillés à la base, simples, glabres, ayant de 30 cm à 1 m de haut. Feuilles à limbes linéaires étroits, atteignant 20 cm de long (parfois plus) sur 2-4 mm de large, plans ou à marges enroulées, glabres ; ligule réduite à une courte membrane tronquée, ciliolée au sommet.

Inflorescences en panicules oblongues, étroites, assez denses ou lâches, de 10-25 cm de long, le plus souvent pourpres ; ramifications solitaires ou rapprochées subverticillées, dressées ou obliquement étalées ; pédicelles des épillets grêles et flexueux, glabres, de longueur variable. Epillets ovés aigus, de 2-2,5 mm de long, baillant au sommet, glabres, le plus souvent pourpres ou violacés ; glumes inégales, l'inférieure, dépassant la 1/2 et pouvant atteindre les 3/4 de la longueur de l'épillet, ovée, très aiguë à mucronée au sommet, s'écartant nettement de l'épillet à maturité, 5-nervée, la supérieure de la taille de l'épillet, aiguë et à nervure médiane carénée au sommet, 5-7-nervée ; fleur inférieure ♂, lemma semblable à la glume supérieure, un peu plus ample, 5-nervée ; fleur supérieure ♀, oblongue obtuse au sommet, plus courte que l'épillet (1,5 mm de long), à glumelles finement crustacées, pâles, lisses et brillantes.

Espèce africaine. Elle existe à Madagascar dans le domaine humide de l'Est, à basse altitude. Elle fait partie des savanes à *Aristida similis* sur les collines érodées. Les sols sont ferrallitiques sur alluvions anciennes ou roches cristallines. Elle semble peu fréquente et n'a, jusqu'à présent, été récoltée que dans la région de Farafangana et Mananjary. Appleton la cite comme étant une bonne plante fourragère, mais son intérêt dans ce domaine nous semble limité.

19. **P. subalbidum** Kunth (fig. 127). (= *P. glabrescens* Steud., *P. longijubatum* Stapf).

Noms malgaches : Famoa, Fataka, Ahipisaka.

Grande herbe pérenne, en touffes lâches ; pousses d'abord étalées sur le sol, chaumes genouillés ascendants, ayant de 40 cm à plus de 1 m de long, glabres, assez souvent mous et spongieux ; nœuds noirâtres, glabres. Feuilles à limbes linéaires, plans ou un peu arrondis à la base, glabres, de taille très variable : 7-40 cm de long sur 3-15 mm de large ; ligule représentée par une membrane très courte, ciliée au sommet.

Inflorescences en panicules, de 15-40 cm de long, assez souvent contractées, les rameaux dressés et rapprochés, ou plus amples et à rameaux étalés, ceux de la base un peu réfléchis ; ramifications solitaires ou plus ou moins rapprochées et subverticillées, glabres, celles de la base indivises sur une certaine partie de leur longueur, pouvant atteindre 20 cm de long ; pédicelles des épillets courts : 0,5-3 mm de long. Epillets ovés lancéolés, un peu comprimés subacuminés au sommet, de 2,5-3 mm de long, glabres, jaune verdâtre ou tachés de violacé ; glumes inégales, l'inférieure courte, 1/4 de la longueur de l'épillet dont elle embrasse la base, 1-nervée, la supérieure de la taille de l'épillet, à 7-9 nervures saillantes ; fleur inférieure vide, lemma semblable à la glume supérieure ; fleur supérieure nettement plus courte que l'épillet, 2-2,2 mm, oblongue ou elliptique, un peu aiguë ou sommet, à glumelles crustacées lisses et brillantes.

Espèce commune en Afrique, fréquente aussi aux Mascareignes et à Madagascar. On la trouve dans les différents domaines climatiques. C'est une plante de tendance hygrophile. Elle occupe des stations humides ou fraîches : bords de mares, alluvions du bord des rivières, prairies marécageuses, diguettes de rizières. Elle est aussi commune sur les jachères de rizières. Comme beaucoup de plantes hygrophiles elle est variable dans son développement qui dépend beaucoup de la station et de son humidité. C'est une bonne plante fourragère mais elle ne forme pas de peuplements importants. Elle ressemble un peu à *Panicum maximum*, par son développement, mais elle est facilement reconnaissable à son port plus étalé, sa panicule dont les rameaux inférieurs sont souvent un peu réfléchis à maturité, et à sa fleur fertile à glumelles lisses.

$2n = 36$ (Tateoka).

PSEUDECHINOLAENA Stapf

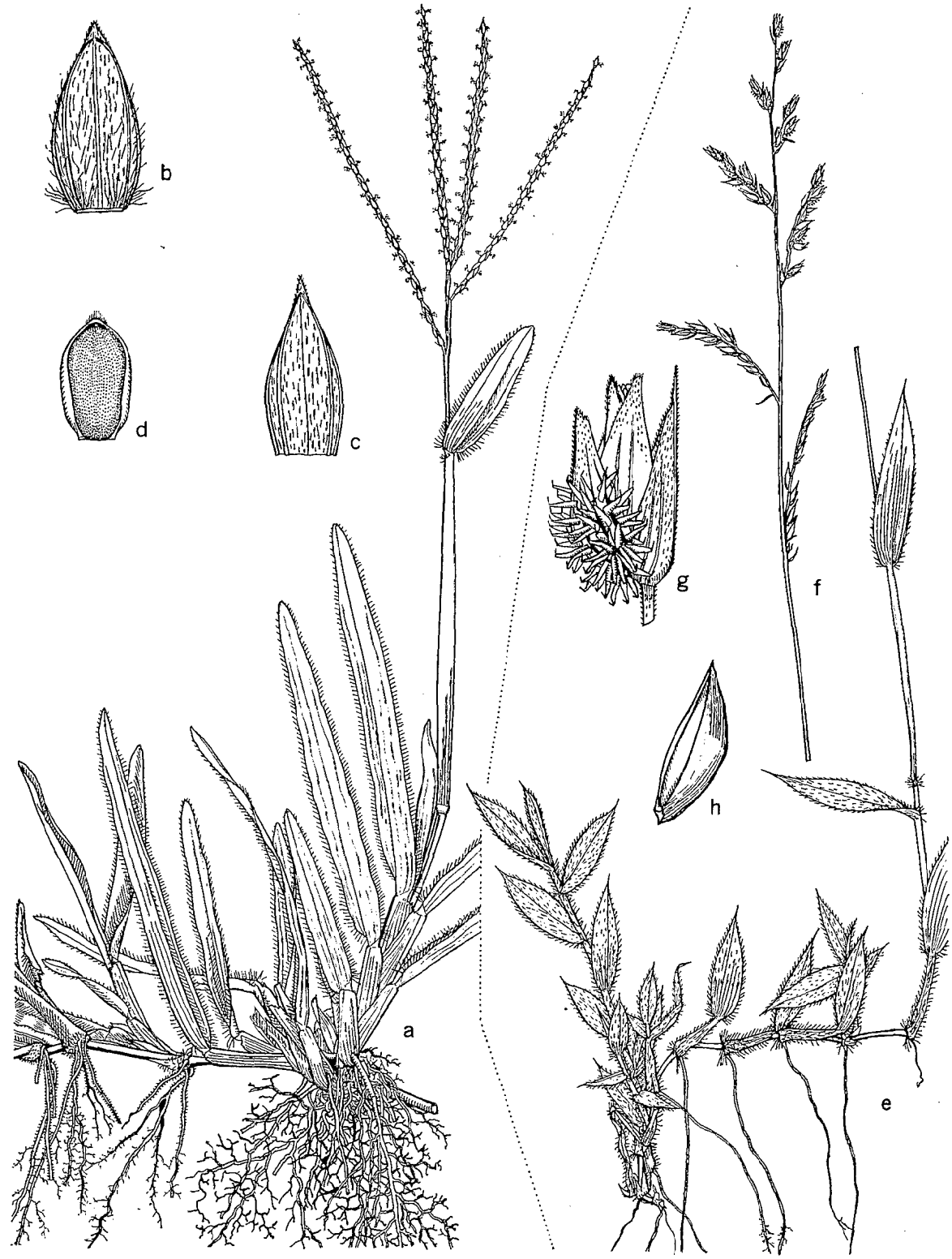
Genre comprenant 2 espèces dont une est très répandue dans les régions chaudes du globe. Cette plante est facilement reconnaissable aux expansions crochues qui existent la plupart du temps sur la glume supérieure de l'épillet.

P. polystachya (H.B.K.) Stapf (fig. 128).

Herbe pérenne (peut-être aussi annuelle), diffuse, à tiges couchées sur le sol, ramifiées et enracinées aux nœuds ; chaumes genouillés, dressés, atteignant 40 cm de haut, grêles, glabres ; nœuds pileux. Feuilles molles, à limbes lancéolés ou linéaires, rétrécis sur la base un peu arrondie, ayant 2-7 cm de long sur 4-13 mm de large, plans, glabres ou plus ou moins pileux et pouvant porter des poils à base tuberculée sur les marges ; ligule représentée par une membrane tronquée.

Inflorescences de 4-15 cm de long, nettement exsertes sur de longs pédoncules grêles, formées de 2-7 racèmes dorsiventraux, subsessiles, grêles, insérés le long d'un axe, ceux de la base, plus longs, atteignant 4 cm et nettement distants, obliquement dressés. Epillets lancéolés aigus, de 3,5-4,5 mm de long, vert sombre parfois plus ou moins pourpres, solitaires ou géminés, assez lâchement disposés et bisériés sur une face de l'axe du racème ; glume inférieure de 1/2 à 3/4 de la longueur de l'épillet, ovée, presque plane sur le dos, 3-nervée ; glume supérieure un peu plus courte que l'épillet, concave, aiguë au sommet, 7-nervée, munie, entre les nervures, de lignes d'appendices (poils) crochus au sommet, ou parfois à la place des appendices seulement de poils courts et raides (les deux types de pilosité pouvant se trouver sur la même inflorescence) ; fleur inférieure ♂ ou vide, aussi longue que l'épillet, à lemma indurée, crustacée à la base ; fleur supérieure ♀, beaucoup plus courte que l'épillet (2,5 mm de long), lisse et brillante.

Espèce existant en Afrique et en Asie, présente à Madagascar dans les régions humides de l'Est et du Sambirano et subhumides des plateaux. Elle affectionne une ombre légère et croît souvent à l'ombre d'arbres sous lesquels elle peut donner un tapis dense. On la trouve aux bords des chemins, dans les fossés.


b
d
c
g
f
h
a
e

Dans l'Ouest, à saison sèche plus longue, elle peut occuper des bas fonds un peu humides. Elle devient une adventice dans les cultures arbustives (caféiers dans l'Est). Les poils crochus sur le dos des épillets, aident à la dissémination de la plante. Elle est sans intérêt en tant que fourrage.

$2n = 36$ (Tateoka)

ERIOCHLOA Kunth

Genre groupant environ 25 espèces des régions tropicales. Quatre sont communes ou assez communes à Madagascar. Ce genre est caractérisé par le callus renflé se trouvant à la base de l'épillet.

CLÉ DES ESPÈCES

1. Plantes robustes, pérennes. Epillets à fleur inférieure ♂ (rarement vide et représentée seulement par la lemma). Lemma de la fleur supérieure à peine mucronée au sommet.
   2. Epillets glabres ou presque ; glume inférieure bien développée, atteignant jusqu'à 1/6 de la longueur de l'épillet et en entourant la base.
      1. *E. Meyeriana.*
   2. Epillets en général régulièrement et uniformément pileux ; glume inférieure réduite ou absente.
      2. *E. borumensis.*
1. Plantes grêles, annuelles. Epillets à fleur inférieure toujours réduite à la lemma. Lemma de la fleur supérieure nettement mucronée (0,3-1 mm).
   3. Racèmes denses ; épillets sur 4 rangs, brièvement pédicellés (moins de 1,2 mm).
      3. *E. parvispiculata*
   3. Racèmes lâches ; dans une paire d'épillets, l'un à pédicelle nettement plus long, atteignant 2,5-3 mm.
      4. *E. nubica.*

1. **E. Meyeriana** (Nees) Pilger (fig. 129).

Nom malgache : Karangy.

Herbe pérenne, cespiteuse, à rhizome court ; chaumes en général robustes, de 50 cm à 1,20 m de haut, (parfois plus), pouvant atteindre 6 mm de diamètre, simples ou ramifiés aux nœuds ; nœuds glabres ou pubescents. Feuilles à limbes linéaires lancéolés, glabres, plans, de 6-20 cm de long sur 5-15 mm de large ; ligule représentée par une ligne de poils courts et denses.

FIG. 128. — *Axonopus compressus* (Swartz) P. Beauv. : a, pied fleuri (épis longs de 3 - 9 cm) ; b, épillet, face ventrale (long de 2,5 - 3 mm) ; c, glume supérieure ; d, fleur supérieure fertile, face ventrale. — *Pseudechinolaena polystachya* (H.B.K.) P. Beauv. : e, fragment de la base d'une plante ; f, inflorescence (longue de 4 - 15 cm) ; g, épillet, vue latérale (long de 3,5 - 4,5 mm) ; h, fleur supérieure fertile, vue de trois quarts.


a
b
c
d
e
f
g
h
i
j

Inflorescences paniculées, pyramidales, de taille très variable, 5-20 cm de long sur 2-10 cm de large, formées de racèmes nombreux, lâches, insérés le long de l'axe, solitaires ou rapprochés par deux, obliquement dressés, subsessiles ou brièvement pédonculés (1 cm), divisés et portant à leur base, de courtes racémules de quelques épillets (rarement racémules dépassant 1,5 cm de long) ; pédicelles des épillets courts, pouvant porter quelques poils sétacés. Epillets ovés lancéolés, aigus, de 3-3,5 mm de long, souvent plus ou moins violacés, glabres ou presques glabres, cal de la base réduit mais net (0,1 mm de haut), surmonté d'une glume membraneuse plus ou moins développée, atteignant 1/6 de la longueur de l'épillet ; glume supérieure aussi longue que l'épillet, 5-nervée ; fleur inférieure ♂, à lemma semblable à la glume supérieure ; fleur supérieure ♀, ovée ou elliptique, plus courte que l'épillet, à glumelles crustacées, un peu rugeuses, jaune pâle, lemma ayant un mucron à peine marqué au sommet.

Espèce africaine, existant à Madagascar dans l'Ouest et le Nord-Ouest, et la partie Nord des Hauts Plateaux (Ankaizina), le lac Alaotra. Elle est localement assez fréquente. C'est une plante croissant en stations humides, bords des rizières, et de marais, bas fonds à sols lourds et argileux où elle peut former des peuplements presque purs. Elle reste verte une grande partie de la saison sèche après le retrait des eaux et, pendant cette période difficile, c'est un fourrage très recherché par les animaux. Elle supporte une certaine salure du sol et elle est très vigoureuse en bonnes conditions, atteignant 2-2,5 m de haut.

$2n = 36$ (Tateoka)

2. **E. borumensis** Stapf

Herbe pérenne, cespiteuse, rhizomateuse ; chaumes moyennement robustes, genouillés ascendants, simples ou ramifiés aux nœuds inférieurs, atteignant 1,50 m de haut (rarement plus). Feuilles à limbes linéaires plans ou à marges enroulées, de 7-20 cm de long sur 5-7 mm de large, glabres ou avec une zone de pubescence derrière la ligule ; ligule réduite à une ligne de poils denses et courts.

Inflorescences paniculées, de 7-22 cm de long, assez étroites, formées de 10-20 racèmes dorsiventraux insérés sur l'axe, solitaires ou parfois rapprochés par deux, obliquement dressés, les inférieurs, plus longs, pouvant atteindre 6-7 cm, composés à leur base et pouvant porter des racémules courtes et denses, atteignant jusqu'à 2,5 cm de long, appliquées contre l'axe du racème ; pédicelles des épillets courts, portant des poils sétacés. Epillets ovés lancéolés, aigus, de 2,7-3,5 mm de long, solitaires ou géminés, pileux, poils soyeux, brillants, apprimés ; cal à la base, arrondi, petit, de 0,1-0,2 mm de haut ; glume inférieure presque absente, ou représentée au-dessus du cal, par une petite écaille membraneuse très réduite ; glume inférieure de la longueur de l'épillet, 5-nervée ; fleur inférieure typiquement ♂, parfois cependant vide, lemma semblable à la glume supérieure ; fleur supérieure ♀, plus courte que l'épillet, de 2-2,5 mm de long, à glumelles crustacées, finement rugueuses, lemma portant au sommet un mucron en général très court, parfois à peine marqué.

Cette espèce se retrouve aussi en Afrique. Elle a quelque analogie d'allure avec *E. Meyeriana*, mais s'en distingue assez facilement par ses épillets pileux, à glume inférieure et lemma supérieure plus étroitement appliquées sur la fleur fertile, l'absence presque complète de la glume inférieure, la panicule plus étroite. C'est une plante de tendance hygrophile, que l'on trouve dans les bas-fonds temporairement inondés à sol argileux lourds. Elle est surtout fréquente dans la zone subaride du Sud et la partie Sud de l'Ouest, alors que *E. Meyeriana* est surtout abondant dans le Nord-Ouest, C'est un bon fourrage à l'état jeune, mais il ne forme jamais de peuplements importants.

FIG. 129. — *Eriochloa nubica* (Steud.) Hack. et Stapf ex Thell. : a, fragment de la base d'une plante; b, inflorescence (longue de 5 - 18 cm) ; c, épillet, face ventrale (long de 3 - 4 mm) ; d, fleur supérieure fertile, face ventrale ; e, base d'un limbe et ligule. — *Eriochloa Meyeriana* (Nees) Pilger : f, base d'un chaume ; g, inflorescence (longue de 5 - 20 cm) ; h, épillet, face ventrale (long de 3 - 3,5 mm) ; i, fleur supérieure fertile, face ventrale ; j, base d'un limbe et ligule.


a
b
c
d
e
f
g
h

3. **E. parvispiculata** Hubb. (fig.130).

Herbe annuelle, cespiteuse ; chaumes glabres, dressés, parfois genouillés à la base, ayant de 40 cm à 1 m de haut ; nœuds glabres. Feuilles à limbes linéaires, plans ou à marges enroulées, glabres, atteignant 15 cm de long sur 5-6 mm de large ; ligule représentée par une ligne de poils denses et raides.

Inflorescences paniculées, exsertes, ayant de 7 à 18 cm de long, formées de nombreux racèmes (une quinzaine ou plus) dorsiventraux, insérés et échelonnés sur un axe, dressés, denses, subsessiles ou brièvement pédonculés, racèmes inférieurs plus longs, atteignant 2,5-6 cm, parfois divisés à leur base et portant de courtes racémules de 2-5 épillets ; pédicelles des épillets courts, ne dépassant pas 1,2 mm de long. Epillets insérés sur 4 rangs, densément imbriqués, ovés lancéolés, de 2,5-3 mm de long, soyeux, à poils brillants assez longs, apprimés ; cal de la base globuleux, couronné d'une glume vestigiale ; glume supérieure aussi longue que l'épillet, à sommet aigu subacuminé, 5-nervée ; fleur inférieure vide, réduite à la lemma, semblable à la glume supérieure ; fleur supérieure fertile elliptique, mucronée, de 1,7-2 mm de long, à glumelles crustacées, finement rugueuses, mucron de 0,3-0,4 mm de long.

Espèce africaine de Zanzibar. Elle se retrouve dans le Nord-Ouest de Madagascar entre Majunga et Diégo-Suarez. Elle est peu fréquente. Elle occupe des stations fraîches, bas-fonds, bords de marais, alluvions et supporte des terrains un peu salés. Elle est parfois adventice dans les cultures vivrières des bas fonds.

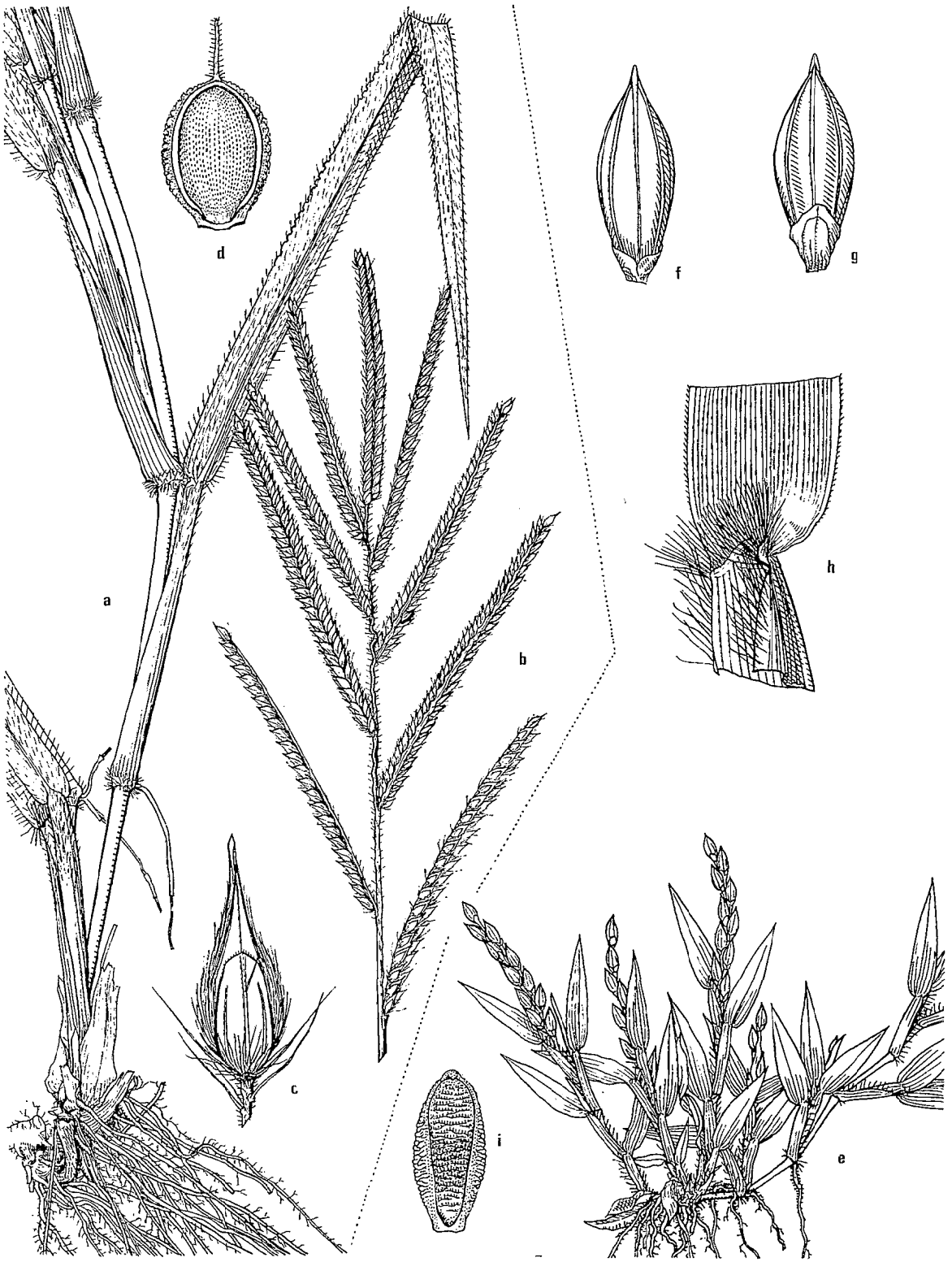
4. **E. nubica** (Steud.) Hack. et Stapf ex Thell. (= *E. acrotricha* (Steud.) Hack. ex Thell.) (fig. 129).

Herbe annuelle, en touffes diffuses ; chaumes de grêles à moyennement robustes, dressés, parfois genouillés à la base, glabres, de 15-75 cm de haut, nœuds pubescents ou glabres. Feuilles glabres ou plus ou moins pubescentes, à limbes linéaires aigus, plans, ayant le plus souvent 5-12 cm de long sur 5-6 mm de large (atteignant 18 cm sur 9 mm) ; ligule réduite à une ligne dense de poils assez courts.

Inflorescences paniculées, exsertes, assez grêles, ayant de 5-18 cm de long, formées de racèmes dorsiventraux nombreux, grêles et lâches, obliquement dressés et insérés le long de l'axe, ceux de la base, plus longs, de 2,5 à 8 cm, parfois composés et ayant dans leur partie inférieure quelques racémules secondaires ; pédicelles des épillets grêles et inégaux, le plus long atteignant 2,5-3 mm ; axes des inflorescences, des racèmes et pédicelles portant souvent une pilosité fine, plus ou moins abondante. Epillets solitaires ou géminés, bisériés sur une face de l'axe du racème, ovés aigus, subulés ou caudés, de 3-4 mm de long, pileux soyeux, à poils apprimés, cal de la base bien développé, 0,2-0,3 mm de long, souvent marqué de violet ou de pourpre sombre, glume inférieure absente ou représentée par une bordure membraneuse peu développée au dessus du cal ; glume supérieure aussi longue que l'épillet, ayant au sommet une aristule de 1,2-3 mm de long, 5-nervée ; fleur inférieure vide, réduite à la lemma, caudée, assez semblable à la glume supérieure ; fleur supérieure ♀, ovée, de 2-2,3 mm de long, à glumelles crustacées, un peu rugueuses, lemma mucronée à aristulée, aristule de 0,5 mm de long.

Espèce pantropicale, existant à Madagascar dans les zones sèches à subhumides, du Sud, de l'Ouest et des plateaux. Elle n'existe pas dans la zone humide de l'Est. C'est une plante fréquente, de comportement surtout rudéral, adventice des cultures ou occupant des jachères, qui ne se rencontre qu'occasionnelle-

FIG. 130. — *Alloteropsis paniculata* (Benth.) Stapf : a, base d'un chaume ; b, inflorescence (racèmes pouvant atteindre 15 cm) ; c, épillet, face ventrale (long de 4 - 5 mm, sans l'arête) ; d, fleur supérieure fertile, face ventrale. — *Eriochloa parvispiculata* Hubb. : e, base d'une plante ; f, inflorescence (longue de 7 - 18 cm) ; g, épillet, face ventrale (long de 2,5 - 3 mm) ; h, fleur supérieure fertile, face ventrale.


a
b
c
d
e
f
g
h
i

ment dans les savanes. Elle ne forme pas de peuplements. Elle croît sur différents types de sol, sableux à argileux et lourds, en stations sèches, ensoleillées, bien drainées. Elle peut supporter une légère salure. C'est un bon fourrage mais peu productif.

2 $n = 36$ (Tateoka)

UROCHLOA P. Beauv.

Genre ayant des représentants surtout en Afrique et en Asie, une espèce à Madagascar, sans doute d'introduction assez récente. Ce genre est caractérisé par ses épillets aplatis dorsalement, groupés en racèmes dorsiventraux, la lemma de la fleur fertile étant munie d'un mucron ou d'une aristule assez développée.

U. mosambicensis (Hack.) Dandy (fig. 131).

Herbe pérenne, cespiteuse ou plus ou moins stolonifère et couchée à la base ; chaumes moyennement robustes, genouillés ascendants, enracinés et ramifiés aux nœuds inférieurs, glabres, un peu comprimés, à nœuds pileux, atteignant 1 m et plus de haut. Feuilles en général pileuses, à limbes plans, linéaires, arrondis à la base, pouvant atteindre 25 cm de long sur 15 mm de large ; ligule représentée par un rebord longuement cilié.

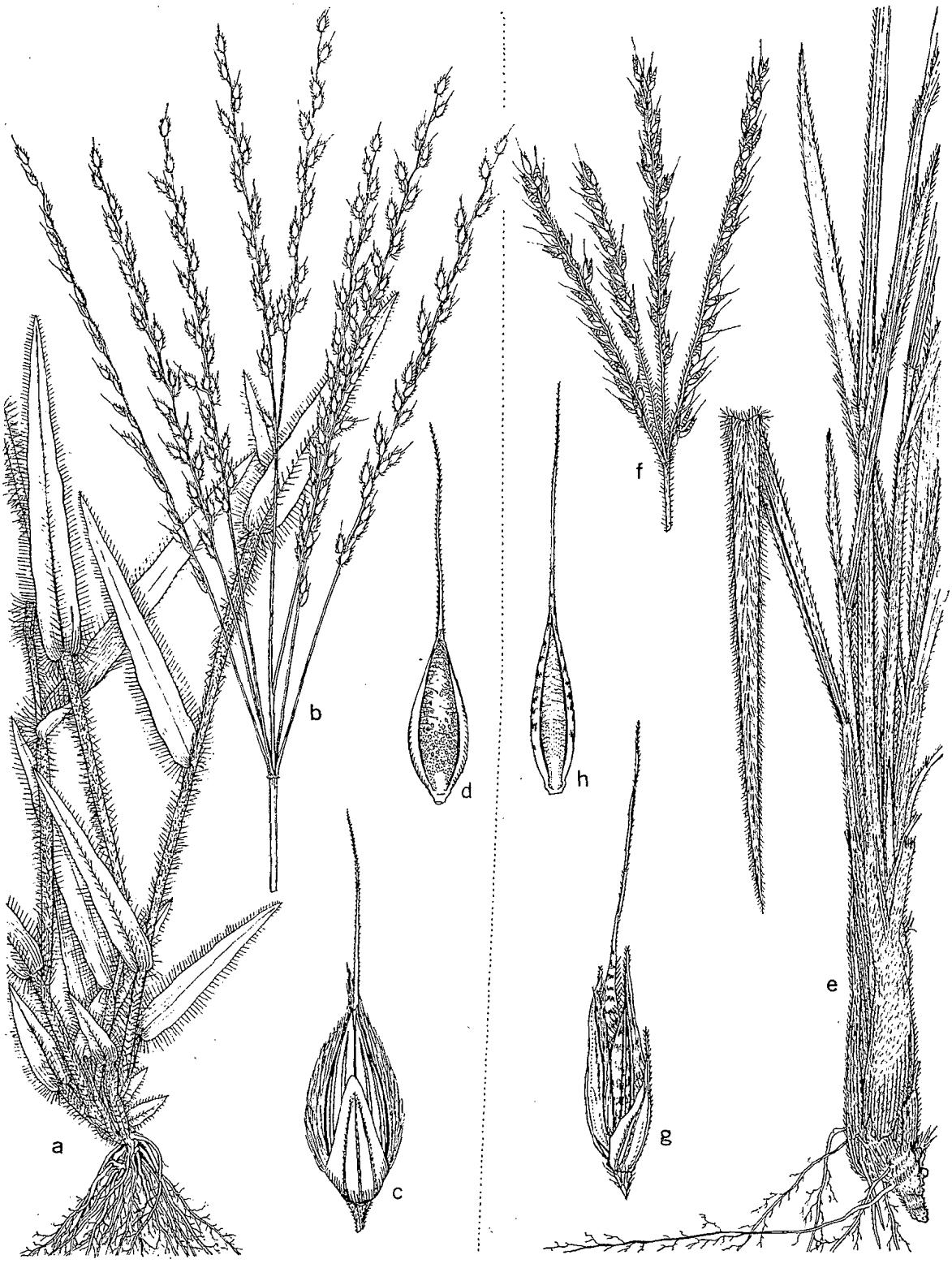
Inflorescences paniculées, atteignant 15 cm de long, formées de 4-12 racèmes dorsiventraux, argentés, espacés, ceux de la base, plus longs, ayant de 3-9 cm de long ; axe des racèmes aplati, sinueux, large ; pédicelles des épillets courts, portant quelques poils sétacés. Epillets solitaires ou géminés, de 3-5 mm de long, largement ovés et acuminés au sommet, aplatis dorsalement ; glume inférieure atteignant les 3/4 de la longueur de l'épillet, sommet irrégulièrement tronqué, 3-nervée, portant sur la nervure médiane 1 à 3 poils sétacés raides, à base tuberculée ; glume supérieure aussi longue que l'épillet, acuminée au sommet, pileuse hirsute surtout dans la moitié inférieure, à 5 nervures un peu saillantes ; fleur inférieure ♂ ou vide, lemma 5-nervée, rappelant la glume supérieure mais plane et glabre sur le dos et ayant le long de marges 2 bandes de poils sétacés raides, apprimés, argentés ou rosés ; fleur supérieure ♀, plus courte que l'épillet, largement elliptique, à glumelles crustacées, la lemma ridée transversalement, surtout vers les marges et terminée au sommet par une aristule grêle.

Espèce africaine, jusqu'à présent rarement récoltée à Madagascar. On la trouve dans l'Ouest (région de Maintirano) sur les alluvions et sur sables. Elle est susceptible de se répandre dans cette partie de l'Ouest. C'est un bon fourrage. Des échantillons à épillets glabres ont été signalés en Afrique.

ALLOTEROPSIS Presl.

Genre ne comptant que 5 ou 6 espèces, dont 3 sont communes ou assez communes à Madagascar. Ce genre est caractérisé par des inflorescences formées de racèmes dorsiventraux, grêles, des épillets plus ou moins nettement comprimés dorsalement, la fleur supérieure fertile étant mucronée ou aristée au sommet, à glumelles lisses, de texture papyracée.

FIG. 131. — *Urochloa mosambicensis* (Hack.) Dandy : a, fragment d'une souche ; b, inflorescence (racèmes de 3 - 9 cm) ; c, épillet, face ventrale (long de 3 - 5 mm) ; d, fleur fertile, face ventrale. — *Brachiaria pseudodichotoma* Bosser : e, port de la plante (hauteur 2 - 6 cm) ; f, épillet, dos (long de 2 - 2,5 mm) ; g, épillet, face ventrale ; h, base d'un limbe et ligule ; i, fleur fertile, face ventrale.


a
b
c
d
e
f
g
h

CLÉ DES ESPÈCES

1. Herbe pérenne, en touffes denses ; gaines basales densément imbriquées ; feuilles linéaires, étroites. Epillets de 5-6 mm de long.

1. *A. semialata*

1. Herbes annuelles, en touffes diffuses ; gaines basales non densément imbriquées ; feuilles lancéolées ou linéaires lancéolées, arrondies à la base. Epillets de 4-5 mm de long.

2. Epillets ovés, de 4-5 mm de long sur 1,5 mm de large ; arête en général courte : 2-3 mm. Racèmes 2-7.

2. *A. cimicina*

2. Epillets lancéolés aigus, de 4-5 mm de long sur 1 mm de large ; arête en général plus longue : 3-5 mm. Racèmes nombreux, 10 ou plus.

3. *A. paniculata.*

1. **A. semialata** (R. Br.) Hitchc. (fig. 132).

Noms malgaches : Horona, Ahitomendry, Ahitrakanga, Tongolonakanga.

Herbe pérenne, en touffes denses et compactes, protégées par les gaines des feuilles inférieures ; chaumes dressés, simples, ayant de 25 cm à 1 m de haut, glabres ou plus ou moins pileux sous l'inflorescence et sous les nœuds ; nœuds pileux. Feuilles basales à gaines persistantes, étroitement imbriquées, densément pileuses, côtelées ; limbes linéaires, à base étroite, plans ou à bords enroulés, glabres ou à pilosité éparse, ayant de 5-25 cm de long sur 4-6 mm de large ; ligule réduite à une courte bordure ciliée.

Inflorescences formées de 2-5 racèmes dorsiventraux, digités, ayant de 3-15 cm de long (parfois plus), obliquement dressés, pédonculés à leur base ou subsessiles, à axe grêle, longuement pileux. Epillets ovés aigus ou acuminés, aristés, de 5-6 mm de long, à glumes et lemma inférieure ciliées sur les bords, par ailleurs glabres, légèrement comprimés dorsiventralement, verts, assez souvent teintés de brun ou de pourpre, solitaires, géminés ou fasciculés, bisériés sur une face de l'axe du racème, à pédicelles relativement courts, les plus longs ayant 5-6 mm ; glume inférieure ayant la moitié de la longueur de l'épillet ou un peu plus, mucronée, à 3-5 nervures saillantes ; glume supérieure aussi longue que l'épillet, à sommet un peu tronqué, 5-nervée ; fleur inférieure ♂; lemma semblable à la glume supérieure, un peu indurée, 7-nervée ; fleur supérieure ♀, un peu plus courte que l'épillet, à glumelles papyracées, lemma lancéolée, embrassant étroitement la paléa, aristée au sommet, arête courte, 2-5 mm de long.

Espèce existant en Afrique et en Asie, commune à Madagascar sur les plateaux au-dessus de 900-1 000 m d'altitude. C'est une plante de stations sèches bien drainées, ou encore, plus ou moins gorgées d'eau pendant une période de la saison des pluies. Elle pousse sur des sols ferrallitiques souvent érodés, résiste à une saison sèche longue et au passage des feux courants, les touffes étant protégées par les vieilles gaines périphériques. Elle fait partie des savanes herbeuses à *Loudetia* et *Aristida*, où elle est localement assez abondante. C'est un fourrage médiocre.

FIG. 132. — *Alloteropsis cimicina* (Linn.) Stapf : a, base d'une plante ; b, inflorescence (racèmes longs de 7 - 15 cm) ; c, épillet, face ventrale (long de 4 - 5 mm, sans l'arête) ; d, fleur supérieure fertile, face ventrale. — *Alloteropsis semialata* (R. Br.) Hitchc. : e, fragment de la base d'une plante ; f, inflorescence (racèmes longs de 3 - 15 cm) ; g, épillet, vue latérale (long de 5 - 6 mm, sans l'arête) ; h, fleur supérieure fertile, face ventrale.

La floraison débute fin décembre. Deux variétés ont parfois été distinguées : var. *semialata*, à épillets uniformément verts ; var. *Eckloniana* (Nees) Pilger, à lemmas des fleurs inférieures et des fleurs fertiles striées de bandes brunes ou pourpres.

2. **A. cimicina** (Linn.) Stapf (fig. 132).

Herbe annuelle, en touffes lâches ; chaumes dressés, parfois genouillés à la base, de 30-60 cm de haut, glabres ou hirsutes et munis de poils à base tuberculée ; nœuds hirsutes. Feuilles à gaines hirsutes, limbes linéaires lancéolés, à base arrondie, ayant de 2-7 cm de long sur 5-15 mm de large, plans, à marges abondamment garnies de poils raides, face supérieure glabre, face inférieure pileuse ; ligule représentée par un étroit rebord longuement cilié.

Inflorescences formées de 2-7 racèmes dorsiventraux, digités ou groupés sur un axe court, ceux de la base pouvant être verticillés ; racèmes grêles, les plus longs ayant 7-15 cm, pédonculés à la base, obliquement dressés. Epillets ovés aigus, aristés, très comprimés dorsalement et aplatis, de 4-5 mm de long sans l'arête, solitaires ou géminés, plus rarement fasciculés à la base des racèmes, tous pédicellés, pédicelles les plus longs atteignant 3-5 mm ; glume inférieure dépassant la moitié de la longueur de l'épillet, ovée aiguë, glabre, 3-nervée ; glume supérieure aussi longue que l'épillet, ovée, acuminée au sommet, dos glabre, marges portant des poils longs et brillants, blancs ou rosés, 5-nervée ; fleur inférieure vide ou ♂, lemma plus courte que la glume supérieure, 5-nervée, glabre ; fleur supérieure ♀, plus courte que l'épillet, ovée ou elliptique, très aplatie, lemma papyracée, lisse, aristée au sommet, arête ayant de 2-3 mm de long.

Espèce se trouvant aussi en Afrique de l'Est et en Asie, rencontrée sporadiquement à Madagascar dans le domaine subhumide de l'Ouest. C'est une adventice des cultures sèches, surtout sur sols sableux perméables. Elle peut se trouver aussi dans les savanes dégradées à *Heteropogon contortus*. Elle est broutée par les animaux, mais n'a que peu d'intérêt en tant que fourrage.

3. **A. paniculata** (Benth.) Stapf (fig. 130).

Nom malgache : Tsangambary.

Herbe annuelle, en touffes diffuses ; chaumes de grêles à moyennement robustes, genouillés à la base, de 40 cm à 1,50 m de haut, glabres ; nœuds glabres. Feuilles à gaines lâches, ciliolées le long des marges par ailleurs glabres, ou plus ou moins densément pileuses ; limbes lancéolés ou linéaires lancéolés, de 5-15 cm de long sur 8-15 mm de large (parfois plus), plans, arrondis à la base, glabres ou ciliés sur les marges qui sont souvent ondulées ; ligule réduite à un court rebord membraneux, cilié au sommet.

Inflorescences paniculées, formées de nombreux racèmes dorsiventraux, insérés sur un axe commun, les racèmes de la base verticillés ; racèmes grêles, à axes filiformes, ceux de la base pouvant dépasser 15 cm de long. Epillets lancéolés aigus, aristés, de 4-5 mm de long (sans l'arête), géminés ou fasciculés, inégalement pédicellés, pédicelles grêles, les plus longs atteignant 4 mm ; glume inférieure dépassant la 1/2 de la longueur de l'épillet, lancéolée aiguë, glabre, 3-nervée ; glume supérieure longuement acuminée, aussi longue que l'épillet, pileuse sur les marges, 5-nervée ; fleur inférieure ♂ ou vide, lemma acuminée à brièvement aristée, assez semblable à la glume supérieure mais glabre et plus petite, 5-nervée ; fleur supérieure comprimée dorsalement, aussi longue que l'épillet, glumelles papyracées, lisses et brillantes, lemma lancéolée, prolongée par une arête droite d'environ 5 mm de long.

Espèce fréquente en Afrique existant aussi aux Mascareignes, assez commune à Madagascar dans les domaines de l'Est et de l'Ouest, plus rare sur les plateaux.

C'est une plante de tendance hygrophile, bordures et jachères de rizières, berges des canaux, adventice dans les cultures sur alluvions fraîches, mais qui, dans l'Ouest, peut aussi se trouver en stations sèches et sableuses, pendant la saison des pluies. Les chaumes et les gaines foliaires sont souvent violacés.

OPLISMENUS P. Beauv.

Genre d'une quinzaine d'espèces comptant des représentants dans toutes les régions chaudes du monde ; certaines ont une très vaste répartition ; 3 espèces sont communes à Madagascar. Ce genre se distingue par des épillets un peu comprimés latéralement, à glumes aristées, et fleur supérieure à glumelles lisses. Ce sont des plantes de sous-bois.

CLÉ DES ESPÈCES

1. Herbe annuelle ; arêtes des épillets scabérules et fines ; axes des racèmes densément pileux et d'aspect hirsute.

   1. *O. Burmannii*

1. Herbes pérennes ; arêtes robustes et lisses ; axes des racèmes pouvant porter des poils sétacés, mais jamais d'aspect hirsute.
   2. Racèmes courts et denses, ceux de la base ne dépassant pas 2,5 cm de long (parfois réduits à un fascicule d'épillets), distants entre eux de plus de leur longueur.

      2. *O. hirtellus*

   2. Racèmes lâches, en général plus longs, ceux de la base ayant 2,5-10 cm, distants entre eux de moins de leur longueur (racèmes de la base parfois distants de plus de leur longueur mais alors de plus de 2,5 cm de long).

      3. *O. compositus*

1. **O. Burmannii** (Retz.) P. Beauv. (fig. 133).

Herbe annuelle, à tiges grêles, couchées sur le sol, enracinées et ramifiées aux nœuds ; chaumes florifères dressés, grêles, glabres ou pubescents, ayant de 10-40 cm de haut ; nœuds pileux. Feuilles à limbes lancéolés, à base contractée arrondie, dissymétrique, de taille très variable, 1-7 cm de long sur 4-15 mm de large, plans, mous, de presque glabres à densément pubescents ; ligule représentée par une membrane tronquée, ciliée au sommet.

Inflorescences de 5-10 cm de long (rarement plus), formées de 3-10 racèmes dorsiventraux, échelonnés sur un axe grêle, denses, très pileux, obliquement dressés, très variables de taille : 0,3-2 cm de long, ceux de la base souvent distants de plus de leur longueur. Epillets lancéolés, pileux, de 2-3 mm de long, à 3 arêtes scabérules inégales, géminés, à pédicelles courts ; glume inférieure 3-5-nervée, atteignant les 2/3 de la longueur de l'épillet, longuement aristée au sommet, arête droite ou sinueuse de 8-15 mm de long ; glume supérieure semblable à la première, un peu plus longue, 5-7-nervée, arête plus courte, fleur inférieure vide, réduite à la lemma, pileuse dans sa partie supérieure, brièvement aristée, 7-nervée ; fleur supérieure ♂, lancéolée aiguë, un peu plus courte que l'épillet, à glumelles papyracées, lisses.

Espèce pantropicale, commune dans toute l'île, même dans les régions sèches du Sud et de l'Ouest. C'est une plante d'ombre légère, que l'on trouve surtout en lisières forestières, sous-bois. Elle est surtout fréquente dans les zones humides de l'Est et du centre. Dans l'Ouest elle végète à l'ombre de grands arbres (*Tamarindus indica* Linn.) sur alluvions et elle a souvent dans cette région un cycle végétatif très bref. Elle forme parfois des peuplements presque purs et ne semble pas être broutée par les animaux. Dans la zone forestière elle est souvent adventice dans les cultures.


c
b
h
f
g
d
a
e

2. **O. hirtellus** (Linn.) P. Beauv.

Herbe pérenne, à tiges couchées sur le sol, ramifiées et enracinées aux nœuds, chaumes florifères dressés, de 30-60 cm de haut. Feuilles à limbes linéaires ou linéaires lancéolés, rétrécis sur la base, un peu dissymétriques, de glabres à lâchement pileux, de 3-15 cm de long sur 4-18 mm de large ; ligule représentée par une courte membrane tronquée, ciliolée.

Inflorescences de 5-20 cm de long, formées de 3-10 racèmes denses, dressés, souvent appliqués contre l'axe principal, solitaires, distants entre eux de plus de leur longueur, parfois réduits à des fascicules de quelques épillets, ceux de la base ne dépassant pas 2,5 cm de long. Epillets lancéolés, de 4-5 mm de long, glabres ou peu pileux, à 3 arêtes, géminés ou solitaires, bisériés sur une face de l'axe ; glume subégales, atteignant les 2/3 de la longueur de l'épillet ou plus, l'inférieure 5-nervée, à longue arête terminale lisse atteignant 10 mm, la supérieure 5-7-nervée, à arête nettement plus courte, 2-3 mm ; fleur inférieure vide, lemma aussi longue que l'épillet, 7-nervée, très brièvement aristée ; fleur supérieure ♀, étroitement lancéolée aiguë, de 3-4 mm de long, pâle, à glumelles chartacées, lisses.

Espèce répandue sous tous les tropiques, commune à Madagascar dans les régions humides de l'Est et subhumide des plateaux. C'est une plante d'ombre légère, qui croît en lisière forestière, pouvant être adventice dans les cultures arbustives : (caféiers), que l'on trouve aussi communément aux bords de fossés humides. Elle est très proche de l'espèce voisine *O. compositus*, certains échantillons ne se distinguant que difficilement.

$2n = 72$ (Tateoka)

3. **O. compositus** (Linn.) P. Beauv. (fig. 133).

Herbe pérenne, de même port que la précédente ; chaumes florifères dressés, ayant de 50-80 cm de haut.

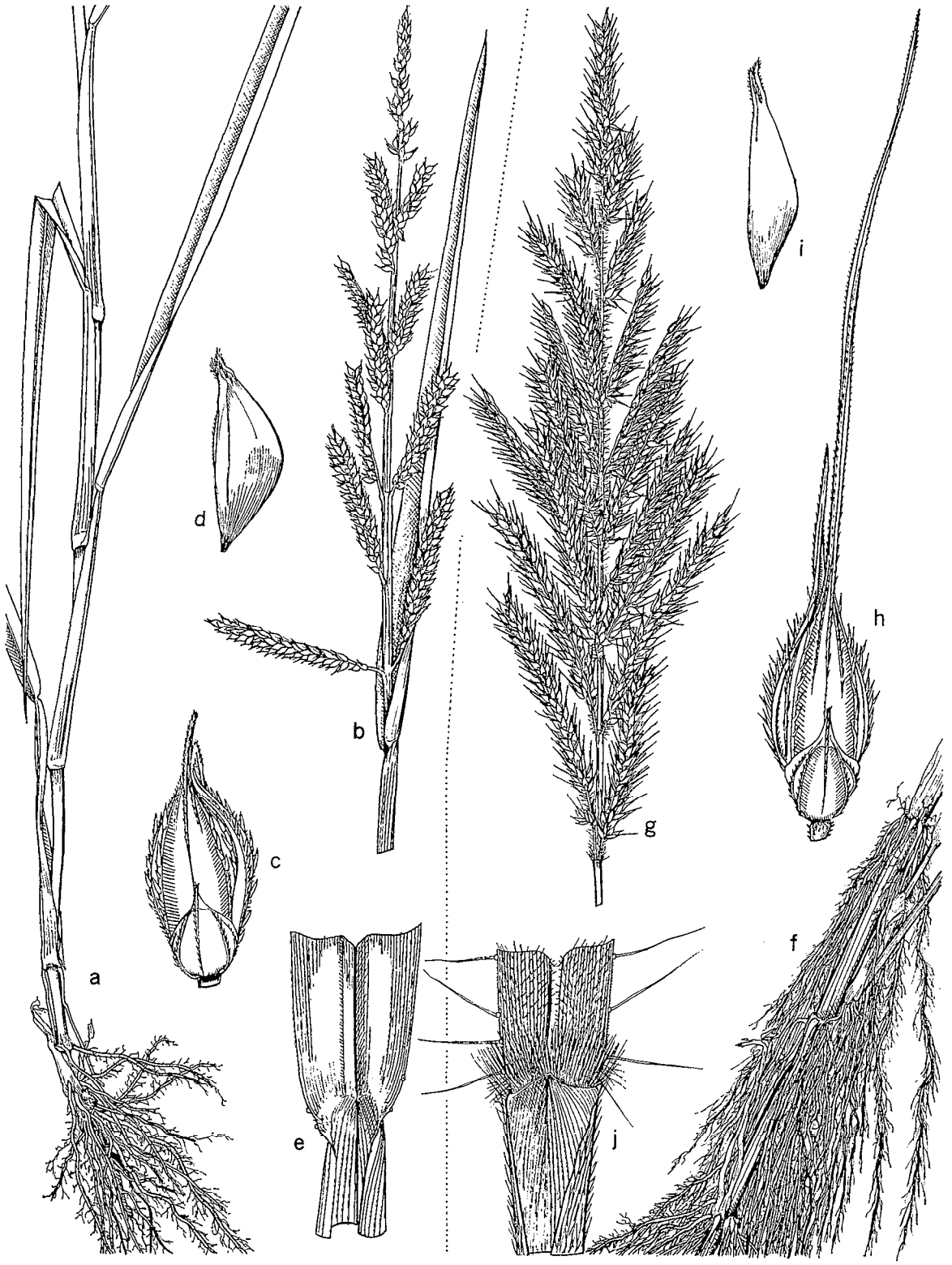
Inflorescences lâches, de 10-30 cm de long, formées de 6-10 racèmes sessiles ou subsessiles, solitaires, obliquement dressés, ayant de 2-10 cm de long ; racèmes distants les uns des autres de moins de leur propre longueur, ou ceux de la base distants de plus de leur longueur, mais alors longs de plus de 3 cm. Epillets lancéolés, de 4-5 mm de long, géminés, subsessiles, vert sombre ou plus ou moins lavés de pourpre, glabres ou presque, à 3 arêtes inégales ; glumes subégales, atteignant les 2/3 ou les 3/4 de l'épillet, l'inférieure, 5-nervée, munie d'une forte arête terminale lisse, atteignant jusqu'à 15 mm de long ; la supérieure 7-nervée, à arête plus courte, 2-3 mm ; fleur inférieure vide, lemma de la longueur de l'épillet, 9-nervée, munie au sommet d'une très courte aristule ou d'un mucron ; fleur supérieure ♀, étroitement lancéolée aiguë, un peu plus courte que l'épillet, à glumelles chartacées, pâles, lisses.

Espèce répandue sous tous les tropiques, commune à Madagascar et ayant la même répartition et la même écologie que la précédente. Ces deux espèces sont d'ailleurs très proches l'une de l'autre et semblent séparées assez artificiellement.

ECHINOCHLOA P. Beauv.

Genre groupant des plantes de stations humides ou marécageuses, vivant surtout en régions tropicales, quelques-unes s'adaptant aux climats tempérés. Certaines espèces ont une très vaste répartition.

FIG. 133. — *Oplismenus Burmannii* (Retz.) P. Beauv. : a, fragment de la base d'une plante ; b, inflorescence (longue de 5 - 10 cm) ; c, épillet, vue latérale (long de 2 - 3 mm, sans les arêtes) ; d, fleur supérieure fertile (dos). — *Oplismenus compositus* (Linn.) P. Beauv. : e, base d'un chaume ; f, inflorescence (longue de 5 - 20 cm, racèmes longs de 2 - 10 cm) g, épillet, vue latérale (long de 4 - 5 mm, sans les arêtes) ; h, fleur inférieure fertile, face ventrale.


a
b
c
d
e
f
g
h
i
j

Nous avons retenu 5 espèces pour Madagascar. Ce genre se reconnaît à des inflorescences formées de racèmes dorsiventraux, à épillets brièvement pédicellés, cuspidés ou aristés, en général convexes sur le dos et à glumes et lemma inférieure scabres sur les nervures.

Dans ce genre les variations sont très nombreuses et ne paraissent pas toujours très stables ; de plus, une même plante peut présenter des développements très différents suivant les stations ou même dans une même station. Si bien qu'il est parfois difficile de rapporter un échantillon donné à telle ou telle espèce. Stapf, dans la « Flora of Tropical Africa » disait déjà que la distinction des différentes espèces n'était guère satisfaisante et, depuis cette époque, il semble que les progrès n'aient guère été sensibles.

CLÉ DES ESPÈCES

1. Pérennes ; ligule représentée par une ligne très nette de longs poils (cependant souvent absente sur les feuilles supérieures des chaumes).
   2. Epillets de 4,5-6 mm de long, longuement aristés (rarement à arête courte ou seulement cuspidés).

      1. *E. stagnina*

   2. Epillets plus petits, 2,5-4 mm de long ; cuspidés au sommet, jamais aristés.
      3. Plantes robustes, à tiges dépassant souvent 1 m de long. Inflorescences grandes, pyramidales, de 15-30 cm de long, formées de racèmes nombreux, rapprochés, parfois subverticillés, obliquement étalés.

         2. *E. pyramidalis*

      3. Plantes plus grêles, tiges ne dépassant pas 90 cm de long. Inflorescences étroites, de 5-15 cm de long, formées de 4-8 racèmes solitaires, dressés.

         3. *E. Holubii*

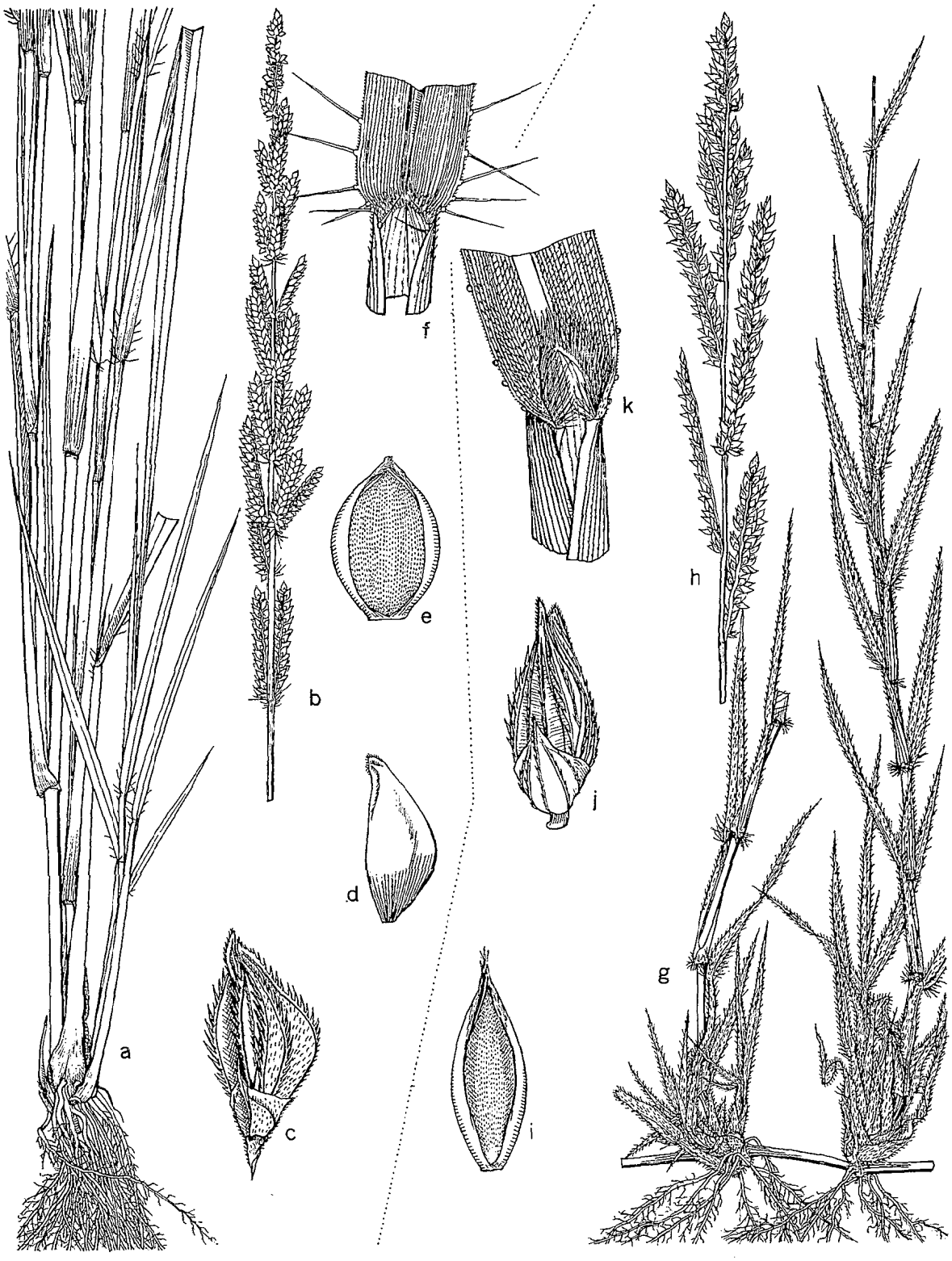
1. Annuelles ; ligule absente sur toutes les feuilles (parfois une zone de pubescence plus ou moins longue à la base du limbe, mais pas de ligne de longs poils à la place de la ligule).
   4. Inflorescences étroites, assez rigides, formées de racèmes courts, denses, le plus souvent solitaires, ne dépassant que rarement 2 cm de long ; lemma inférieure et glume supérieure aiguës ou un peu comprimées au sommet, non aristées ; épillets de 2,5-3 mm de long.

      4. *E. colonum*

   4. Inflorescences ovées, plus souples, à racèmes plus longs ; lemma inférieure à sommet nettement cuspidé à longuement aristé ; épillets de 3-4 mm de long.

      5. *E. crusgalli*

FIG. 134. — *Echinochloa crusgalli* (Linn.) P. Beauv. : a, base d'un chaume ; b, inflorescence (longue de 5 - 35 cm) ; c, épillet, face ventrale (long de 3 - 4 mm) forme à arête courte ; d, fleur inférieure fertile, vue latérale ; e, base du limbe (la ligule est nulle). — *Echinochloa stagnina* (Retz.) P. Beauv. : f, fragment de rhizome ; g, inflorescence (longue de 10 - 35 cm) ; h, épillet, face ventrale (long de 4,5 - 6 mm, sans l'arête) ; i, fleur supérieure fertile, vue latérale ; j, base du limbe et ligule représentée par une ligne de longs poils.


a
b
c
d
e
f
g
h
i
j
k

1. **E. stagnina** (Retz) P. Beauv. (fig. 134).

Noms malgaches : Karangy, Ahidrano.

Herbe pérenne, rhizomateuse, à tiges robustes (jusqu'à 1 cm de diamètre) ramifiées, molles, couchées sur le sol ou flottant sur l'eau, s'enracinant aux nœuds ; chaumes florifères dressés, de 1-2 m de haut ; nœuds le plus souvent glabres. Feuilles glabres ou parfois à pilosité sétacée, à base des poils tuberculée ; limbes linéaires, plans, de 15-45 cm de long sur 10-15 mm de large, ligule toujours représentée, au moins dans les feuilles inférieures, par une ligne de longs poils sétacés.

Inflorescences paniculées, grandes, penchées, de 10-35 cm de long, parfois pourpres ; racèmes en général nombreux, solitaires ou plus ou moins rapprochés et groupés, dressés, ou flexueux et penchés, ceux de la base, plus longs, atteignant 10 cm. Epillets le plus souvent densément groupés, parfois cependant assez lâches, ovés, oblongs, de 4,5-6 mm de long, le plus souvent longuement aristés, assez aplatis dorsi-ventralement et à dos peu convexe ; glumes et lemma de la fleur inférieure à nervures scabres ; glume inférieure atteignant la moitié de la longueur de l'épillet, 3-5-nervée ; glume supérieure aussi longue que l'épillet, souvent caudée et acuminée, 5-nervée ; fleur inférieure ♂ ou vide, à lemma longuement aristée, arête pouvant atteindre 2,5 cm de long, ou plus rarement seulement caudée ; fleur supérieure ♀, étroitement oblongue, à sommet un peu comprimé, acuminé, un peu convexe sur le dos, de la taille de l'épillet ou un peu plus courte, glumelles finement coriaces à crustacées, jaune pâle, lisses et brillantes.

Espèce des régions chaudes de l'Afrique et de l'Asie, observée à Madagascar dans les domaines humides de l'Est et subhumides du Centre, plus rare dans l'Ouest où elle existe cependant. C'est une plante du bord des eaux, aquatique ou semi-aquatique. On la rencontre au bord des rivières, sur le pourtour des marais, dans les rizières où elle peut être une adventice. C'est un excellent fourrage, ne durcissant pas, apprécié du bétail. A Madagascar, nous n'avons jamais observé de grands peuplements. En Afrique, cette espèce appelée « bourgou » ou « burgu » donne des peuplements étendus dans le moyen Niger et est très utilisée, à diverses fins, par les populations locales : fourrages, toits de chaumes, alimentation (graines).

En conditions défavorables (insuffisance d'eau), la plante peut avoir un développement moindre, un port aberrant : inflorescences courtes, ramifications courtes, épillets caudés ou seulement brièvement aristés. Ces formes sont alors difficiles à reconnaître.

2 $n = 54$.

2. **E. pyramidalis** (Lamk.) Hitch. et Chase (fig. 136).

Noms malgaches : Karangy, Ahidrano, Sarivary, Ahilava, Songolo.

Herbe pérenne, rhizomateuse, en général en touffes robustes, aquatique ou semi-aquatique. Port rappelant celui de *E. stagnina*. En bonnes conditions, chaumes pouvant atteindre 3-4 m de long (plus souvent, 60 cm à 1,50 m) ; nœuds densément pileux à pubescents, les supérieurs presque glabres. Feuilles à gaines glabres ou à pilosité sétacée, poils à base tuberculée, limbes linéaires plans, à base arrondie, pouvant atteindre de grandes dimensions, 45-50 cm de long sur 2,5 cm de large, glabres ou avec quelques

FIG. 135. — *Echinochloa colonum* (Linn.) Link : a, fragment de la base d'une plante ; b, inflorescence (longue de 5 - 15 cm) ; c, épillet, vu de trois quarts (long de 2,5 - 3 mm) ; d, fleur supérieure fertile, vue latérale ; e, fleur supérieure fertile, face ventrale ; f, base du limbe, ligule nulle. — *Echinochloa Holubii* (Stapf) : g, fragment de rhizome ; h, inflorescence (longue de 5 - 15 cm) ; i, fleur supérieure fertile, face ventrale ; j, épillet, face ventrale (long de 3 - 4 mm) ; k, base du limbe, ligule représentée par une ligne de longs poils.


a
b
c
d
e
f
g
h
Razafindrabato Ed.

longs poils à la base ; ligule représentée par une ligne de longs poils, absente parfois dans les feuilles supérieures.

Inflorescences paniculées, amples, dressées ou penchées, pyramidales, souvent denses, atteignant 15-30 cm de long ; racèmes nombreux, denses, solitaires ou plus ou moins groupés, le plus souvent dressés et assez rigides, ceux de la base, plus longs, pouvant atteindre 10 cm. Epillets ovés, de 2,5-4 mm de long, à sommet aigu ou un peu cuspidé (cuspide de 2-2,5 mm), verts ou teintés de violacé ou de pourpre ; en général plus nettement convexe sur le dos que *E. stagnina*. Par ailleurs, les caractères des 2 espèces sont semblables.

Espèce tropicale africaine, introduite aux Indes et à la Guadeloupe ; présente dans tous les domaines (sauf le Sud) à Madagascar et montant en altitude jusqu'à 1 500 m. Elle est assez répandue mais n'est jamais très fréquente et ne forme pas de grands peuplements. Son écologie est analogue à celle de *E. stagnina*. Elle affectionne les boues liquides du bord des eaux. Mais en conditions difficiles elle donne des formes dépaupérées qu'il est difficile d'identifier à coup sûr, ces formes pouvant en particulier se confondre avec des échantillons de *E. Hobubii*.

C'est un fourrage, un peu aqueux, qui se maintient vert pendant la saison sèche aux bords des lacs, des mares, des rivières, et est alors très recherché par le bétail. En Afrique, elle est citée comme pouvant être fanée et donnant un bon foin. Elle est connue en Afrique du Sud sous le nom d'« Antelope grass ». Elle peut être utilisée pour constituer des paturages dans des bas-fonds humides. On la multiplie par éclats de souches ou fragments de rhizomes. Elle donne peu de graines fertiles.

$2n = 54, 72$ (Parodi, Tateoka)

3. **E. Holubii** (Stapf) Stapf (fig. 135).

Herbe pérenne, rhizomateuse, chaumes dressés ou couchés à la base sur le sol et s'enracinant aux nœuds, atteignant 30-90 cm de long ; nœuds glabres ou pileux. Feuilles glabres ou pileuses, à limbes linéaires, plans, de 5-15 cm de long sur 5-8 mm de large (quelquefois plus) ; ligule représentée par une ligne de poils longs et raides.

Inflorescences paniculées, assez peu exsertes, étroites, de 5-15 cm de long, formées de 4-8 racèmes apprimés contre l'axe principal ou obliquement dressés, ceux de la base atteignant 2-4 cm. Epillets oblongs, de 3-4 mm de long, convexes sur le dos, souvent teintés de rose ou de pourpre, à sommet comprimé, aigu, subcuspidé, à poils scabres le long des nervures des glumes et de la lemma inférieure, parfois peu nombreux, par ailleurs épillets presque glabres ou à pubescence variable entre les nervures ; glume inférieure d'environ la moitié de la longueur des épillets, aiguë au sommet, 5-nervée ; glume supérieure, aussi longue que l'épillet, à pubescence très fine sur les marges, 5-7-nervée ; fleur inférieure ♂ ou vide, à lemma semblable à la glume supérieure ; fleur supérieure ♀, oblongue, un peu comprimée au sommet, aussi longue que l'épillet, à glumelles indurées, subcoriaces à crustacées, glabres et lisses, jaunes ou brunâtres.

Espèce sud-africaine, présente à Madagascar dans le domaine de l'Ouest ; peu fréquente, elle a été récoltée dans la plaine de Marovoay, à Amboromalandy, et à Ankaboka, dans la région d'Ambilobe ; elle doit exister sporadiquement dans l'Ouest. Elle occupe des zones marécageuses, des bas-fonds humides, parfois sur sols salés. Elle peut former de petits peuplements qui sont pâturés de près par le bétail en saison sèche.

FIG. 136. — *Echinochloa pyramidalis* (Lamk.) Hitchc. et Chase : a, inflorescence (longue de 15 - 30 cm) ; b, base d'un limbe et ligule ; c, épillet (long de 2,5 - 4 mm) ; — *Setaria madecassa* A. Camus : d, inflorescence (longue de 5 - 15 cm) ; e, épillet (long de 2 mm). — *Brachiaria nana* Stapf. : f, port de la plante (hauteur 5 - 20 cm) ; g, inflorescence ; h, épillet, face ventrale (long de 2,2 - 2,7 mm).

4. **E. colonum** (Linn.) Link. (fig. 135).

Noms malgaches : Varimbivy (riz des sarcelles), Akatambivy (herbe des sarcelles), Ahibary (herbe du riz).

Noms communs : Herbe siflette, Wild millet, Jungle rice (Ile Maurice).

Herbe annuelle, cespiteuse, en touffes lâches ; chaumes glabres, dressés, parfois genouillés à la base et enracinés aux nœuds inférieurs, de taille très variable, ayant parfois seulement quelques centimètres de haut mais pouvant atteindre 70 cm ; nœuds glabres. Feuilles à gaines en général glabres, limbes linéaires, de 4-25 cm de long sur 3,5-10 mm de large, glabres, rarement avec quelques poils sétacés à base tuberculée sur les marges ; ligule toujours absente.

Inflorescences dressées, finalement exsertes, de 5-15 cm de long ; racèmes en nombre variable, 4 à plusieurs, denses, dressés ou obliques, solitaires ou groupés par 2-3, le plus souvent de 1,5-2 cm de long, ceux de la base pouvant atteindre 4 cm. Epillets grossièrement disposés sur 4 rangs, petits, 2,5-3 mm de long, plan-convexes et globuleux, à sommet un peu comprimé aigu, parfois un peu cuspidé (mais cuspide toujours très courte), jamais caudé ni aristé, souvent teinté de violacé ; glumes et lemma de la fleur inférieure herbacées, portant sur les nervures des poils scabres raides, et entre les nervures une pilosité plus fine, plus ou moins dense ; glume inférieure un peu plus courte que la 1/2 de la longueur de l'épillet, ovée, aiguë, 5-nervée ; glume supérieure aussi longue que l'épillet, 7-nervée ; fleur inférieure ♂ ou vide, à lemma assez semblable à la glume supérieure ; fleur supérieure ♀, aussi longue que l'épillet ou presque, très convexe sur le dos, souvent un peu comprimée au sommet, à glumelles subcoriaces ou crustacées, glabres et lisses.

Espèce des régions tropicales et tempérées chaudes du monde ; commune à Madagascar dans tous les domaines géographiques, moins fréquente cependant dans le Sud où on la trouve dans des bas-fonds temporairement humides. C'est une plante hygrophile, des bords de marais et des rivières, adventice dans les cultures sur alluvions, les rizières où elle est cependant peu gênante. Elle fournit un fourrage aqueux, tendre, apprécié des animaux, mais ne forme jamais de peuplements très denses. Son développement est très variable suivant les stations ; sur alluvions fertiles dans l'Ouest, on trouve des plantes robustes qui font penser à *Echinochloa frumentacea* Link, espèce qui a été cultivée pour l'alimentation humaine en Asie et en Afrique.

2 n = 36, 48, 54, 72 (Darlington et Janaki Ammal, de Wet, Tateoka)

5. **E. crusgalli** (Linn.) P. Beauv. (fig. 134).

Noms malgaches : Ahibary, Ahidrano, Karangy, Tsimparifary, Osa-Osa.

Nom Anglo-saxon : Barn-Yard grass (Ile Maurice).

Herbe annuelle, cespiteuse, polymorphe, en touffes souvent robustes ; chaumes dressés ou genouillés à la base, ayant de 30 cm à 1,50 m de haut. Feuilles à gaines le plus souvent glabres ; limbes linéaires, plans, de 6-30 cm de long sur 6-12 mm de large ; ligule absente, mais sur les échantillons malgaches, il existe souvent une zone de pubescence assez dense à la base du limbe derrière la ligne théorique de la ligule.

Inflorescences pyramidales, assez souvent rouge violacé, dressées ou un peu penchées, de 5-35 cm de long ; racèmes en général nombreux (10-15), denses, solitaires ou par 2, dressés ou obliques, de longueur très variable suivant les échantillons, en général, 2,5-5 cm mais pouvant atteindre 10 cm. Epillets plan-convexes, de 3-4 mm de long, caudés ou aristés ; glume inférieure d'environ 1/2 de la longueur des épillets, aiguë ou un peu caudée au sommet, 5-nervée ; glume supérieure aussi longue que l'épillet, caudée au sommet, 5-nervée ; fleur inférieure, ♂ ou vide, aussi longue que l'épillet, à lemma assez semblable à la glume supérieure, plus ou moins longuement aristée au sommet, arête atteignant 3 cm de long mais souvent plus

courte, 0,5-1 cm et parfois presque nulle ; fleur supérieure ♀, aussi longue ou presque que l'épillet, convexe sur le dos, ovée aiguë, un peu comprimée au sommet, à glumelles subcoriaces à crustacées, lisses.

Espèce de climat tropical ou tempéré doux, répandue de par le monde, commune à Madagascar dans tous les domaines, assez rare cependant dans le Sud plus sec. Son écologie est semblable à celle de *E. colonum*. Elle croît en bordure des marais et est une adventice très fréquente dans les rizières. C'est une bonne plante fourragère.

Cette espèce est assez difficile à distinguer, d'une part, de certains échantillons de *E. colonum* quand les épillets ne sont pas aristés et d'autre part de certains échantillons de *E. stagnina*, quand elle est robuste et à épillets aristés. Elle se distingue de *E. colonum* par ses épillets un peu plus gros et au moins assez nettement caudés au sommet, et de *E. stagnina* par des épillets un peu plus petits et par la ligule qui n'est pas représentée, par une ligne de longs cils. Certains échantillons malgaches ont, à la base du limbe, une zone de pubescence qu'il ne faut pas confondre avec la ligule proprement dite. Ceci s'observe aussi sur des échantillons africains.

STENOTAPHRUM Trin.

Genre ne comptant que peu d'espèces (7) des régions tropicales et tempérées chaudes. 3 sont communes à Madagascar. Ce genre est caractérisé par ses inflorescences spiciformes, à axe épaissi, comportant, sur une seule face ou sur 2 rangs opposés, des cavités ou des logettes déprimées où sont placés des racèmes courts, formés de 1 à 8 épillets mutiques.

CLÉ DES ESPÈCES

1. Faux épis oblongs, courts, ne dépassant pas 1,5 cm de long, et portant des racèmes réduits à 1 seul épillet, sur deux rangs opposés.

   1. *S. oostachyum.*

1. Faux épis allongés, dorsiventraux, à axe aplati ; racèmes de plusieurs épillets, insérés sur une même face de l'axe.
   2. Axe de l'inflorescence épaissi et rigide ; racèmes à 2-8 épillets ; lemma de la fleur inférieure de l'épillet le plus souvent épaissie et indurée. Plante surtout côtière.

      2. *S. dimidiatum*

   2. Axe de l'inflorescence peu épaissi, à ailes latérales molles ; racèmes à 2-4 épillets ; lemma de la fleur inférieure toujours herbacée et molle. Plante des plateaux.

      3. *S. unilaterale*

1. **S. oostachyum** Bak. (fig. 137).

Petite herbe pérenne, stolonifère, gazonnante, à tiges couchées, ramifiées et enracinées aux nœuds ; chaumes florifères ascendants, grêles, glabres, de 6-25 cm de haut ; nœuds pileux. Feuilles à gaines fortement comprimées carénées ; limbes linéaires oblongs, arrondis au sommet, rétrécis et un peu arrondis à la


b
c
i
h
d
g
a
f
e

base, pliés ou plans, le plus souvent glabres, ayant de 1-8 cm de long sur 3-8 mm de large ; ligule réduite à un mince rebord ciliolé.

Faux épis oblongs ou ovoïdes, glabres, compacts, courts, de 0,6-1,5 cm de long sur 2,5-4 mm de large, longuement exserts sur des pédoncules grêles ; axe épais, spongieux, creusé sur 2 rangs opposés de 1-3 cavités où sont logés les racèmes ; racèmes réduits à 1 épillet. Epillet oblong, enfoui dans la cavité et de ce fait peu visible, de 2,5-3 mm de long, baillant un peu à l'anthèse ; glume inférieure réduite à une écaille tronquée ou arrondie au sommet, sans nervure, atteignant 1/6 à 1/5 de la longueur de l'épillet ; glume supérieure également courte et semblable à la première glume ; fleur inférieure ♂, ou vide, aussi longue que l'épillet, à lemma oblongue, un peu aiguë au sommet, légèrement indurée sur le dos, à 3 nervures un peu saillantes ; fleur supérieure ♀, un peu plus courte, lemma très concave, aiguë au sommet, papyracée, brunâtre.

Espèce endémique, très caractéristique, qui sur le plan de l'écologie se comporte curieusement. On la trouve sur les plateaux, en bordure de la forêt ombrophile d'altitude (1 000 - 1 300 m), donc sous climat humide, sur des sols ferrallitiques d'origine cristalline. Elle occupe des lisières forestières, des talus et bords de chemins, s'installe sur les jachères (région de Manjakandriana). Par contre, dans l'Ouest, c'est une plante halophile croissant en bord de mer, sur le pourtour de marais salants (régions de Soalala). C'est un bon fourrage, qui donne un tapis ras qui peut être brouté par les moutons.

2. **S. dimidiatum** (Linn.) Brongn. (fig. 137).

Nom malgache : Ahipisaka.

Noms communs : Chiendent bourrique, Gros chiendent (Ile Maurice), Chiendent de bœuf (La Réunion).

Herbe pérenne, assez variable, à stolons couchés, ramifiés et enracinés aux nœuds, gazonnants ; chaumes florifères dressés, glabres, comprimés, ayant de 10-40 cm de haut. Feuilles à gaines comprimées carénées, limbes plans ou pliés, linéaires, arrondis obtus au sommet, arrondis à la base, glabres, ayant de 3-20 cm de long sur 5-12 mm de large ; ligule réduite à un très court rebord ciliolé.

Faux épis dressés, rigides, de robustesse très variable, atteignant 15 cm de long sur 5-6 mm de large, mais souvent beaucoup plus grêles : 3-10 cm de long sur 2-3 mm de large ; axe plat, ailé, les ailes alternant de part et d'autre d'une côte médiane sinueuse. Chaque aile terminée par une pointe courte ; racèmes dorsiventraux, courts, de 5-15 mm de long, à 2-8 épillets, bisériés une face de l'axe principal, ceux de la base parfois distants de plus de leur longueur ; axe des racèmes rigides terminés par une pointe. Epillets lancéolés oblongs, de 4-5 mm de long, glabres, glume inférieure petite, ayant 1/5 environ de la longueur de l'épillet, orbiculaire et largement arrondie au sommet, sans nervure visible ; glume supérieure aussi longue que l'épillet ou un peu plus courte, très concave, aiguë au sommet, 7-9-nervée ; fleur inférieure ♂, de la taille de l'épillet, à lemma épaissie coriace, aplatie sur le dos, à 5-7 nervures parfois peu visibles ; fleur supérieure ♀, un peu plus petite que la fleur inférieure, à glumelles finement chartacées, lisses.

$2n = 48$ (Tateoka).

FIG. 137. — *Stenotaphrum dimidiatum* (Linn.) Brongn. : a, fragment de la base d'une plante et chaume fleuri (haut de 10 - 40 cm) ; b, épillet, vue latérale (long de 4 - 5 mm) ; c, fleur supérieure fertile, face ventrale ; d, lemma de la fleur inférieure (vue latérale). — *Stenotaphrum oostachyum* Bak. : e, chaume fleuri (haut 6 - 25 cm) ; f, épillet, vue latérale (long de 2,5 - 3 mm). — *Stenotaphrum unilaterale* Bak : g, inflorescence (longue de 7 - 22 cm) ; h, épillet, face ventrale (long de 4 - 5,5 mm) ; i, fleur supérieure fertile, face ventrale.

Espèce existant en Afrique et en Asie, commune aux Mascareignes, Comores et Madagascar. Elle est fréquente le long des côtes (surtout de la côte Est), sur sables dunaires. Elle forme des gazons grossiers en haut des plages, tout de suite après les groupements à *Ipomea pes-caprae*. Elle est susceptible de donner des peuplements denses, monospécifiques, qui colonisent les sous-bois dans les plantations de filaos. Plus à l'intérieur, on la trouve en bas de pentes, ou sur des bas-fonds un peu humides mais non inondés, sur les berges des rivières. Sur le plan écologique, elle accepte des sols très différents s'ils sont bien pourvus en eau et des sols sableux à pédoclimat sec, s'ils sont situés près de la mer, l'hygrométrie élevée et constante de l'atmosphère compensant le faible pouvoir de rétension de l'eau par les sables. Ces formes de bord de mer sont en général robustes, à gros épis, à feuilles épaissies, plus fermes, réaction à une certaine salinité du milieu ; les formes éloignées de la mer ou de l'intérieur sont plus grêles, à feuilles plus minces, plus molles, moins développées. Dans la zone humide de l'Est c'est aussi une adventice fréquente dans les caféières, bananeraies, cultures vivrières sur alluvions. C'est une bonne plante de pâturage, restant verte toute l'année.

3. S. **unilaterale** Bak. (fig. 137).

Nom malgache : Ahidrindra.

Herbe pérenne, stolonifère et gazonnante, stolons s'enracinant et se ramifiant aux nœuds ; chaumes grêles, ascendants, glabres, comprimés, ayant de 20-70 cm de haut. Feuilles à gaines comprimées, limbes linéaires, pliés ou plans, un peu arrondis à la base, obtus et arrondis au sommet, en général glabres, de taille très variable : 1,5-15 cm de long sur 3-6 mm de large ; ligule représentée par un rebord ou une courte membrane densément ciliolée.

Faux épis linéaires, de 7-22 cm de long, sur 2,5-3 mm de large, très plats, terminés par une pointe souvent cuspidée ; axe à ailes herbacées, minces. Racèmes courts, 0,7-1,2 cm de long, bisériés sur une face de l'axe, à 2-4 épillets. Epillets lancéolés aigus, glabres, ceux de la base des racèmes plus grands, de 4-5,5 mm de long ; glume inférieure petite, 1/6 à 1/5 de la longueur de l'épillet, parfois réduite à une membrane échancrée largement au sommet, sans nervure apparente ; glume supérieure un peu plus courte que l'épillet en général, lancéolée, herbacée, 7-11-nervée ; fleur inférieure aussi longue sur l'épillet, ♂ ou vide, lemma tronquée au sommet, parfois un peu cuspidée, plane sur le dos, herbacée ou à peine indurée, à 5-9 nervures un peu saillantes ; fleur supérieure ♀, un peu plus courte, cuspidée au sommet, glumelles finement chartacées.

Espèce endémique, ressemblant à la précédente, moins fréquente qu'elle. Elle se limite à certaines zones des plateaux, au-dessus de 1 000 m d'altitude : environs de Tananarive, d'Antsirabe, massifs de l'Ankaratra elle est assez fréquente dans les peuplements d'*Acacia decurrens*. Elle peut aussi être une constituante de certains faciès de la prairie altimontaine (Andringitra). Par ailleurs elle se rencontre dans les prairies rases sur colluvions, en bas de pentes ou sur alluvions fraîches. Perrier de la Bathie la cite comme étant une bonne plante fourragère, mais elle n'a que peu d'importance dans ce domaine.

DIGITARIA Hall.

Grand genre d'une centaine d'espèces, répandu dans le monde tropical, et avec quelques espèces en régions tempérées. Nous avons retenu 21 espèces comme étant communes ou assez communes à Madagascar.

Ce genre est caractérisé par des inflorescences formées de racèmes dorsiventraux grêles, digités ou subdigités au sommet des chaumes, plus rarement échelonnés le long d'un axe allongé. Les épillets sont lancéolés ou elliptiques, mutiques, géminés ou en petits fascicules, les groupes d'épillets bisériés sur une face de l'axe du racème ; la glume inférieure est souvent petite parfois même absente, la glume supérieure,

de taille variable peut être aussi longue que l'épillet, la fleur inférieure est vide, souvent réduite à la lemma, qui a la taille de l'épillet, la fleur supérieure ♂, à la taille et la forme de l'épillet, des glumelles finement coriaces ou chartacées, les bords de la lemma étant minces en non enroulés.

CLÉ DES ESPÈCES

1. Glume supérieure plus longue que l'épillet et terminée en pointe en dépassant nettement le sommet.

1. *D. debilis*

1. Glume supérieure ne dépassant pas la longueur de l'épillet, souvent nettement plus courte.
   2. Epillets géminés dans la partie moyenne des racèmes.
      3. Epillets de moins de 2 mm de long.
         4. Petite herbe pérenne, gazonnante, à chaumes florifères ne dépassant pas 3 cm de haut. Epillets glabres.

2. *D. ankaratrensis*

         4. Herbes annuelles, plus élevées, non gazonnantes. Epillets pileux.
            5. Inflorescences à racèmes nombreux, verticillés sur un axe allongé. Glume supérieure aussi longue que l'épillet.

3. *D. Perrottetii*

            5. Inflorescences à 2-3 racèmes digités. Glume supérieure atteignant 1/4 à 1/3 de la longueur de l'épillet.

4. *D. glauca*

      3. Epillets de 2 mm ou plus de long.
         6. Herbes pérennes, rhizomateuses, gazonnantes, ou cespiteuses mais pourvues de longs stolons enracinés aux nœuds.
            7. Epillets glabres ; glume inférieure développée et atteignant 1/4 de la longueur de l'épillet, bordée par une marge hyaline large.

5. *D. Humbertii*

            7. Epillets pileux ; glume inférieure plus réduite et différente.

6. *D. didactyla*

         6. Herbes annuelles, en touffes diffuses, chaumes parfois couchés à la base mais non stolonifères.
            8. Epillets de plus de 2,5 mm de long.
               9. Glume supérieure ne dépassant pas la 1/2 de la longueur de l'épillet (1/3 à 1/2). Epillets étroitement lancéolés : (2,5-3 mm de long sur 0,5-0,7 mm de large), assez souvent, mais pas de façon absolument constante, seulement 3 nervures de la lemma inférieure directement visibles sur la face ventrale de l'épillet.

7. *D. timorensis*

9. Glume supérieure de 1/2 à 3/4 de la longueur de l'épillet. Epillets elliptiques ou oblongs, plus larges : (3-4 mm de long sur 0,7-1 mm de large) ; 5 nervures de la lemma inférieure visible sur la face ventrale de l'épillet.
   10. Epillets hétéromorphes, la lemma inférieure de l'épillet sessile paraissant glabre, celle de l'épillet pédicellé étant abondamment pileuse entre les nervures latérales, ces poils se hérissant et formant une frange autour de l'épillet à maturité. Racèmes vert pâle, poils blancs argentés.

   8. *D. biformis*

   10. Epillets homomorphes et également pileux ; poils ne formant pas de frange à maturité. Racèmes verts, souvent violacés.

   9. *D. adscendens*

8. Epillets de 2-2,5 mm de long.
   11. Glume supérieure ne dépassant pas la moitié de la longueur de l'épillet.

   10. *D. horizontalis*

   11. Glume supérieure atteignant les 3/4 de la longueur de l'épillet.

   11. *D.* aff. *divaricata*

2. Epillets insérés par groupes de 3 à 6 dans la partie moyenne des racèmes.
   12. Epillets, petits (1-1,3 mm), glabres ; pédicelles munis sous le sommet de quelques poils sétacés raides ; glume supérieure courte, 1/5 à 1/4 de la longueur de l'épillet, hyaline, sans nervure.

   12. *D. minutiflora*

   12. Epillets plus grands, pileux (parfois cependant glabres dans *D. atrofusca*) ; pédicelles sans longs poils sétacés ; glume supérieure plus longue, nervée.
      13. Herbe densément cespiteuse, touffes protégées extérieurement par des fibres grossières, brunâtres, provenant de la désagrégation des gaines. Feuilles filiformes.

      13. *D. setifolia*

      13. Herbes à rhizome diffus, ou plantes cespiteuses mais dont les gaines externes ne se désagrégent pas en fibres grossières. Feuilles non filiformes.
         14. Epillets petits, ne dépassant 1,8 mm de long.
            15. Plante stolonifère, pérenne (ou parfois annuelle). Fleur supérieure fertile vert olive ou grisâtre à maturité.

            14. *D. longiflora*

            15. Plantes cespiteuses, annuelles. Fleur supérieure fertile brune ou noire à maturité.
               16. Epillets ne dépassant pas 1,4 mm de long, à poils courts, étroitement appliqués. Fleur supérieure fertile noirâtre.

               15. *D. Thouaresiana*

               16. Epillets de 1,7-1,8 mm de long, à poils plus longs et fins. Fleur supérieure fertile de couleur noisette ou brun pâle.

               16. *D. violascens*

14. Epillets de plus de 1,8 mm de long.

17. Plante annuelle ; glume supérieure aussi longue que l'épillet. Epillet densément pileux, à poils longs et fins dépassant son sommet.

17. *D. argyrotricha*

17. Plantes pérennes, rhizomateuses. Glume supérieure plus courte que l'épillet. Epillets glabres ou pileux, poils ne dépassant pas le sommet de l'épillet.

18. Epillets ne dépassant pas 2,2 mm de long, glabres (ou quelques poils seulement au sommet de la glume supérieure et à la base de la lemma inférieure). Glume supérieure 1/4 à 1/2 de la longueur de l'épillet.

18. *D. atrofusca*

18. Epillets plus grands. Glumes et lemma inférieure pileuses entre les nervures. Glume supérieure plus longue.

19. Epillets de 2,2-2,6 mm. Glume supérieure de 3/4 à 4/5 de la longueur de l'épillet.

19. *D. madagascariensis*

19. Epillets de 2,5-3,5 mm. Glume supérieure de 1/2 à 3/4 de la longueur de l'épillet.

20. Epillets à poils roux ou fauves. Inflorescences de 2-4 racèmes.

20. *D. fulva*

20. Epillets à poils jaune pâle ou un peu dorés. Inflorescences à 2-7 racèmes.

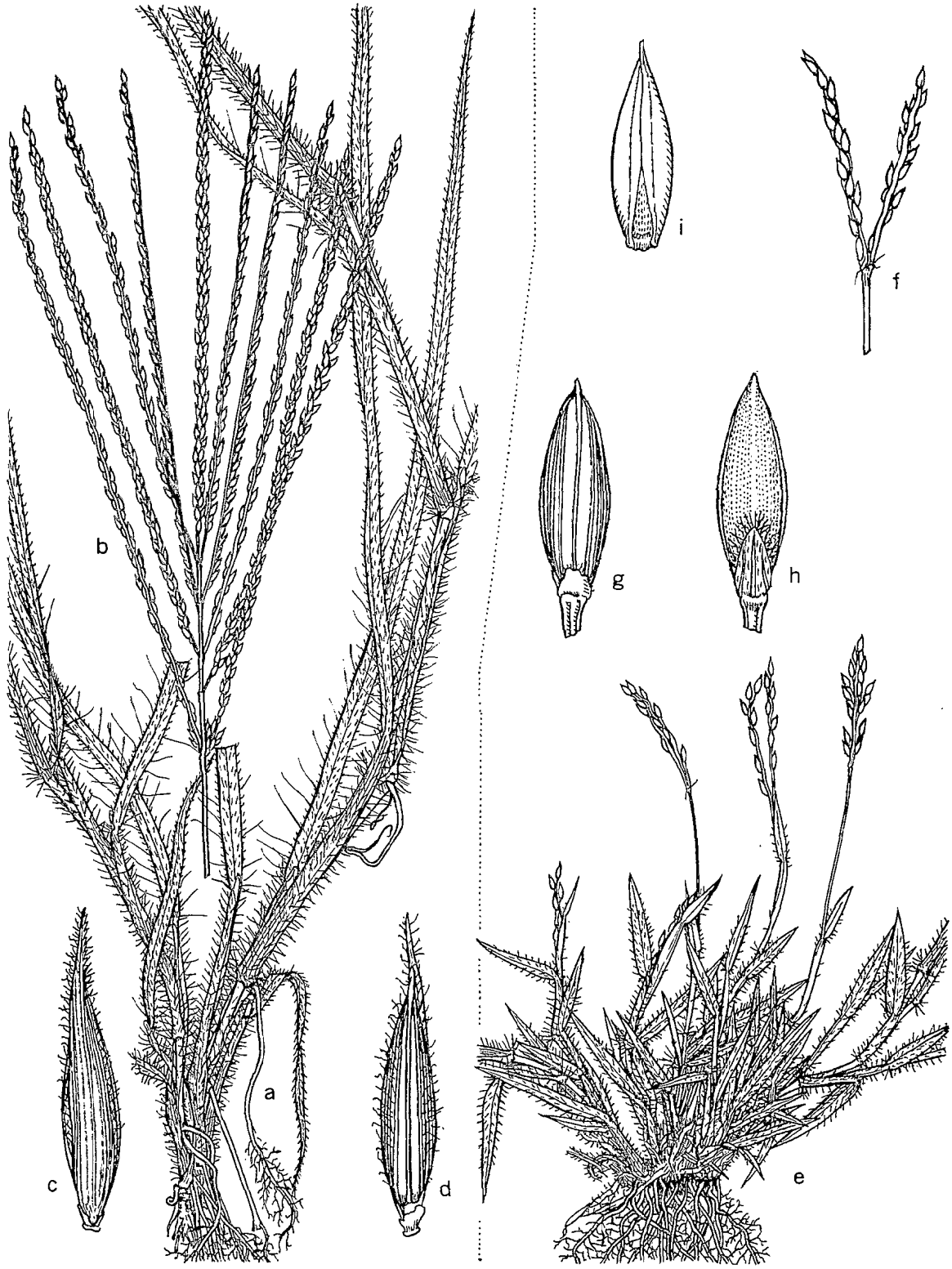
21. *D.* aff. *seminuda*

1. **D. debilis** (Desf.) Willd. (fig. 138).

Herbe annuelle, en touffes lâches ; chaumes dressés, ou assez souvent couchés à la base et genouillés ascendants, ramifiés et radicants aux nœuds inférieurs, glabres, de taille très variable : 20-90 cm de haut. Feuilles à gaines glabres, ou hirsutes pour celles de la base, limbes linéaires, en général de 5-10 cm de long sur 3-4 mm de large, plans, glabres ou pileux ; ligule membraneuse, tronquée, glabre.

Inflorescences formées de 4-13 racèmes sessiles, très grêles, obliquement dressés, subdigités sur un axe court ou assez allongé et pouvant atteindre 7 cm de long ; racèmes de taille très variable avec les échantillons, atteignant jusqu'à 15 cm de long. Epillets assez lâchement disposés, étroitement lancéolés, aigus à acuminés, de 2-3 mm de long, géminés dans la partie médiane des racèmes, l'un subsessile, l'autre sur un pédicelle atteignant 2 mm de long ; glume inférieure absente ou représentée par un mince rebord annulaire membraneux ; glume supérieure étroitement lancéolée, dépassant nettement le sommet de l'épillet, pileuse, 7-nervée ; fleur inférieure vide, lemma lancéolée, aussi longue que l'épillet, 7-nervée, pileuse sur les marges et entre certaines nervures ; fleur supérieure ♂, un peu plus courte que la fleur inférieure, oblongue, aiguë au sommet, glumelles finement chartacées, lisses, jaune pâle ou violacées.

Espèce commune en Afrique, fréquente aussi à Madagascar, surtout dans les domaines subhumides


a
b
c
d
e
f
g
h
i

de l'Ouest et du Centre, existant aussi dans l'Est. C'est une plante de tendance hygrophile, végétant dans les bas-fonds encore frais, après le retrait des eaux, sur les diguettes et jachères des rizières. Elle s'accommode de stations plus sèches : bords de route, et est aussi une adventice assez commune des cultures sèches et peut occasionnellement, s'introduire sur les plages de sol nu dans les savanes sur sables.

C'est un bon fourrage, mais peu productif. Stapf la cite comme étant utilisée pour l'alimentation des chevaux au Nigéria.

2. **D. ankaratrensis** A. Camus (fig. 139).

Petite espèce pérenne, stolonifère et rhizomateuse, formant des gazons denses et compacts, très ras, chaumes florifères très courts, se dégageant à peine du tapis de feuilles, ayant de 1,5-3 cm de haut. Feuilles étroitement imbriquées, très petites, limbes lancéolés ou linéaires lancéolés, de 0,4- 1 cm de long sur 0,8-1,5 mm de large, plans, obtus au sommet, un peu arrondis à la base, pubescents ou glabres, ligule représentée par une courte membrane tronquée.

Inflorescences formées le plus souvent par 1 seul racème court (rarement 2), de 2-7 mm de long, portant seulement 2 à 7 épillets. Epillets oblongs aigus, de 1,5-1,9 mm de long, vert pâle, glabres, solitaires ou géminés à la base des racèmes, brièvement pédicellés ; glume inférieure absente ou représentée plus souvent par une bordure membraneuse hyaline ; glume supérieure aussi longue que l'épillet, à 7 nervures un peu saillantes ; fleur inférieure réduite à la lemma, très semblable à la glume supérieure ; fleur supérieure ♀, oblongue aiguë, aussi longue ou presque que l'épillet, à glumelles finement chartacées, lisses, jaune pâle.

Espèce endémique, très caractéristique, par sa petite taille, ses racèmes très réduits, et le gazon extrêmement court et dense qu'elle produit, rappelant certaines mousses à cause de ses petites feuilles.

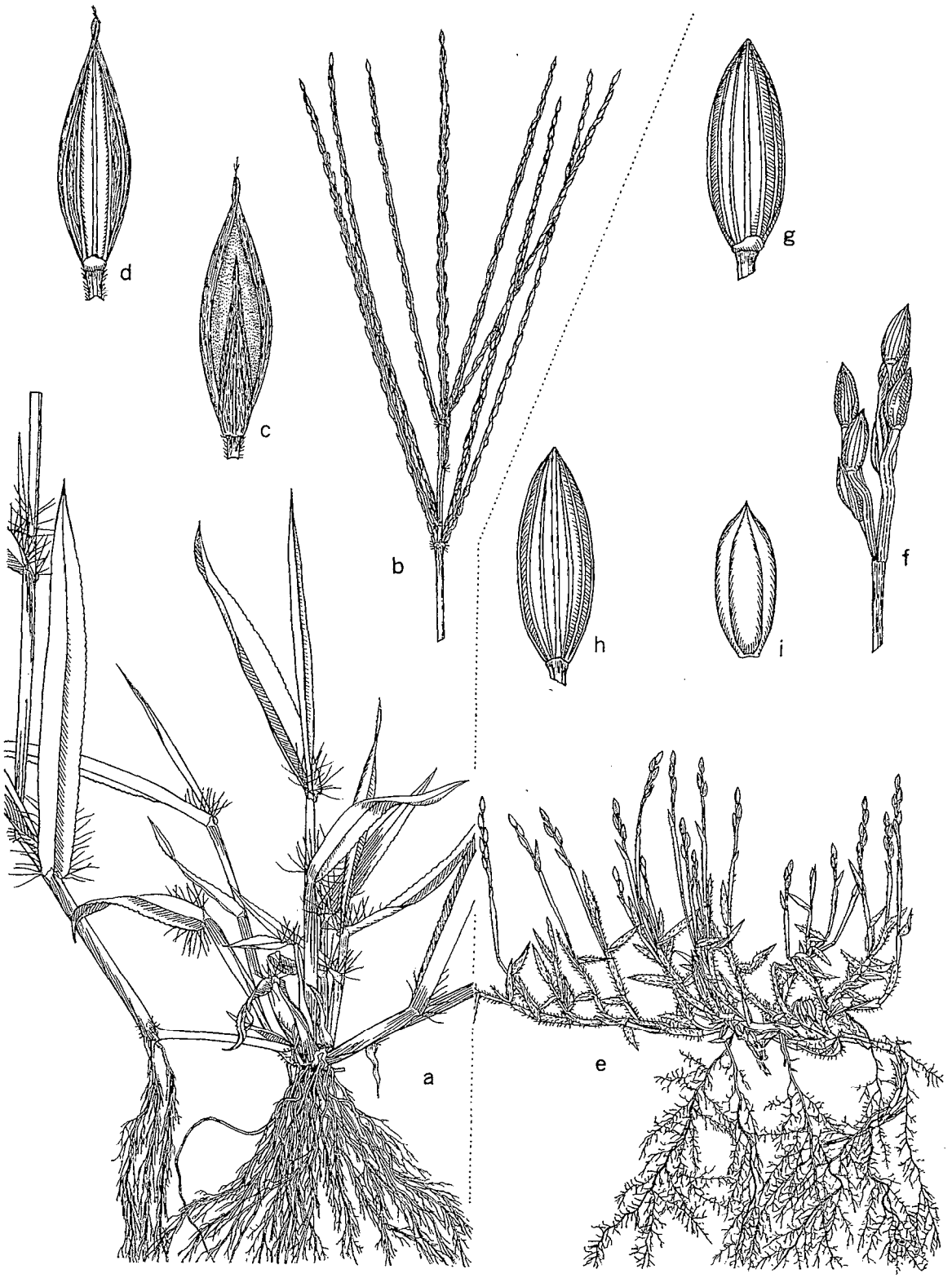
Elle fait partie de la prairie altimontaine entre 1 800 et 2 500 m d'altitude, dans l'Ankaratra. Elle occupe en général de petits bas-fonds ou des cuvettes un peu humides. Dans la région de Nanokely, elle est devenue une adventice commune de la culture de la pomme de terre, et, sur les jachères laissées au repos, recouvre parfois complètement le sol. On peut alors la considérer comme indicatrice d'un sol usé, car ces sols de jachères qui n'ont reçu aucune fumure depuis longtemps sont en général très lessivés. Elle a le mérite de donner un tapis fermé, qui lutte très efficacement quand il est établi, contre l'érosion en nappe. Elle n'a aucune qualité en tant que fourrage.

3. **D. Perrottetii** (Kunth) Stapf (fig. 140).

Herbe annuelle en touffes lâches ; chaumes simples ou ramifiés à la base, dressés, parfois genouillés et s'enracinant aux nœuds inférieurs, glabres, ayant de 30 cm à 1 m de haut ; nœuds glabres. Feuilles à gaines glabres ou pileuses, limbes lancéolés ou linéaires lancéolés, de 3-12 cm de long sur 5-12 mm de large, plans, à base arrondie embrassant la tige, glabres ou avec quelques longs poils à la base, ou plus ou moins pubescents, marges épaissies, ondulées crispées ; ligule réduite à une membrane tronquée, courte et glabre.

Inflorescences finalement nettement exsertes, formées de très nombreux racèmes, verticillés sur un axe commun allongé, de 10-25 cm de long. Racèmes très grêles, subsessiles, obliquement dressés à étalés, ceux de la base, plus long atteignant 4-8 cm. Epillets lancéolés aigus, de 1,7-1,8 mm de long, solitaires ou géminés, l'un à pédicelle très court, l'autre à pédicelle d'environ 2 mm de long ; glume inférieure

FIG. 138. — *Digitaria debilis* (Desf.) Willd. : a, base d'une plante ; b, inflorescence (racèmes les plus longs pouvant atteindre 15 cm) ; c, épillet, face dorsale (long de 2 - 3 mm) ; d, épillet, face ventrale. — *Digitaria glauca* A. Camus : e, plante fleurie (hauteur jusqu'à 35 cm) ; f, inflorescence (racèmes longs de 2 - 4 cm) ; g, épillet, face ventrale (long de 1,5 - 1,8 mm) ; h, épillet, face dorsale ; i, fleur supérieure fertile, face ventrale.


d
c
b
g
f
h
i
a
e

absente ; glume supérieure aussi longue que l'épillet, lancéolée, étroite, pileuse, 3-nervée ; fleur inférieure vide, lemma aussi longue et aussi large que l'épillet, pileuse, 5-nervée ; fleur supérieure lancéolée, subaiguë, aussi longue ou presque que l'épillet, à glumelles chartacées, brun clair.

Espèce africaine, introduite assez récemment à Madagascar, actuellement confinée, à basse altitude dans certaines zones de l'Ouest subhumide, à longue saison sèche (Mahabo, Ankazoabo, Sakaraha, environs de Majunga). C'est une plante de la lisière de la forêt semi-décidue ; assez souvent adventice dans les cultures sèches. Elle est facilement reconnaissable à son inflorescence allongée, aux racèmes groupés en verticilles successifs.

$2n = 18$ (Tateoka).

4. **D. glauca** A. Camus (fig. 138).

Herbe annuelle, en touffes parfois assez denses ; chaumes grêles, glabres, à nœuds hirsutes, dressés ou couchés à la base et genouillés ascendants, ou, sur les petits spécimens, étalés sur le sol en rosette, de taille très variable, quelques centimètre à 35 cm de haut. Feuilles d'un vert glauque, densément hirsutes, poils à base tuberculée, limbes linéaires ou linéaires lancéolés, plans, de 0,5-2,2 cm de long sur 1-4 mm de large ; ligule représentée par une membrane tronquée assez longue.

Inflorescences digitées, peu exsertes sur des pédoncules grêles, formées de 2-3 racèmes de 2-4 cm de long, sessiles, grêles et sinueux. Epillets 1,5-1,8 mm de long, ovés aigus, géminés, l'un subsessile, l'autre assez longuement pédicellé (pédicelle atteignant 3 mm de long) ; glume inférieure réduite à une courte membrane hyaline ; glume supérieure nettement plus courte que l'épillet, ayant 1/4 à 1/3 de sa longueur, 3-nervée, presque glabre ou pileuse entre les nervures ; fleur inférieure vide, lemma de la taille et de la forme de l'épillet, 7-nervée, pileuse le long des marges et, parfois, entre la première et la deuxième paire de nervures latérales ; fleur supérieure ♂, de la taille de l'épillet, lancéolée aiguë, à glumelles finement chartacées, jaune pâle.

Espèce endémique, se trouvant dans l'Ouest (environs de Majunga). C'est une plante de tendance hygrophile, occupant le pourtour de mares temporaires, mais s'accommodant aussi de stations sèches en bord de mer : sables, dunes ; parfois adventice dans les cultures sur alluvions.

5. **D. Humbertii** A. Camus (fig. 141).

Nom malgache : Fandrodahy, Volonondry.

Herbe pérenne, rhizomateuse, donnant un gazon court et serré ; chaumes florifères dressés, très grêles, glabres, en général de 10-30 cm de haut, mais pouvant grimper dans les buissons et atteindre jusqu'à 1 m de long. Feuilles de densément pubescentes à hirsutes ou parfois glabres ou presque, limbes linéaires, plans, de 2-5 cm de long sur 1,5-4 mm ; ligule représentée par une membrane tronquée, glabre, assez longue : 0,5 mm.

Inflorescences nettement exsertes, formées de 2-4 racèmes digités ou subdigités, (souvent 3), insérés à des niveaux différents sur un axe court, subsessiles ou brièvement pédonculés, grêles, ondulés, obliquement dressés, ayant de 2-6 cm de long. Epillets ovés oblongs, un peu aigus, de 2-2,2 mm de long, verts

---

FIG. 139. — *Digitaria* aff. *divaricata* Henr. : a, base d'une plante ; b, inflorescence (racèmes longs de 4 - 15 cm) ; c, épillet, face dorsale (long de 2 - 2,5 mm) ; d, épillet, face ventrale. — *Digitaria ankaratrensis* A. Camus : e, plante fleurie (haute de 1,5 - 3 cm) ; f, inflorescence (racèmes longs de 2 - 7 mm) ; g, épillet, face ventrale (long de 1,5 - 1,9 mm) ; h, épillet, face dorsale ; i, fleur supérieure fertile, face ventrale.


a
b
c
d
e
f
g

ou souvent teintés de pourpre, glabres, assez lâchement disposés et non apprimés contre l'axe, solitaires ou géminés et inégalement pédicellés, pédicelle le plus long ayant de 1-2 mm ; glume inférieure de 1/4 à 1/2 de la longueur de l'épillet, largement ovée et très arrondie au sommet, à marges membraneuses, hyalines, développées, nervation non visible ; glume supérieure aussi longue que l'épillet, à 5 nervures un peu saillantes ; fleur inférieure vide, lemma semblable à la glume supérieure, 7-nervée ; fleur supérieure ♀, aussi longue que l'épillet, oblongue aiguë, à glumelles chartacées, jaune pâle ou violacées, lisses.

Espèce endémique, cependant très voisine de *D. scalarum* (Schweinf.) Chiov. d'Afrique. Très commune sur les plateaux de Madagascar, existant aussi dans l'Est à basse altitude mais, là, moins fréquente. On ne la trouve pas dans les régions plus sèches de l'Ouest et du Sud.

C'est une plante de stations fraîches à subhumides : colluvions de bas de pente, alluvions, diguettes de rizières, s'accommodant aussi de stations plus sèches sur collines. C'est une adventice des cultures sèches dans la bande Est des plateaux vers la zone forestière plus humide et à brouillards fréquents. Elle est très agressive et est une mauvaise herbe gênante dont il est difficile de se débarrasser à cause de ses nombreux rhizomes. Elle forme des gazons très denses où les autres plantes ne peuvent s'introduire. Elle est souvent parasitée par des champignons et le gazon qu'elle donne est alors d'aspect chétif. C'est un fourrage sans intérêt qui semble être souvent dédaigné par le bétail. Elle rappelle un peu par son aspect le *Cynodon dactylon*, elle peut en être assez aisément distinguée à l'état stérile par sa ligule qui est nettement plus longue.

6. **D. didactyla** Willd. (fig. 142).

Nom malgache : Volonondry.

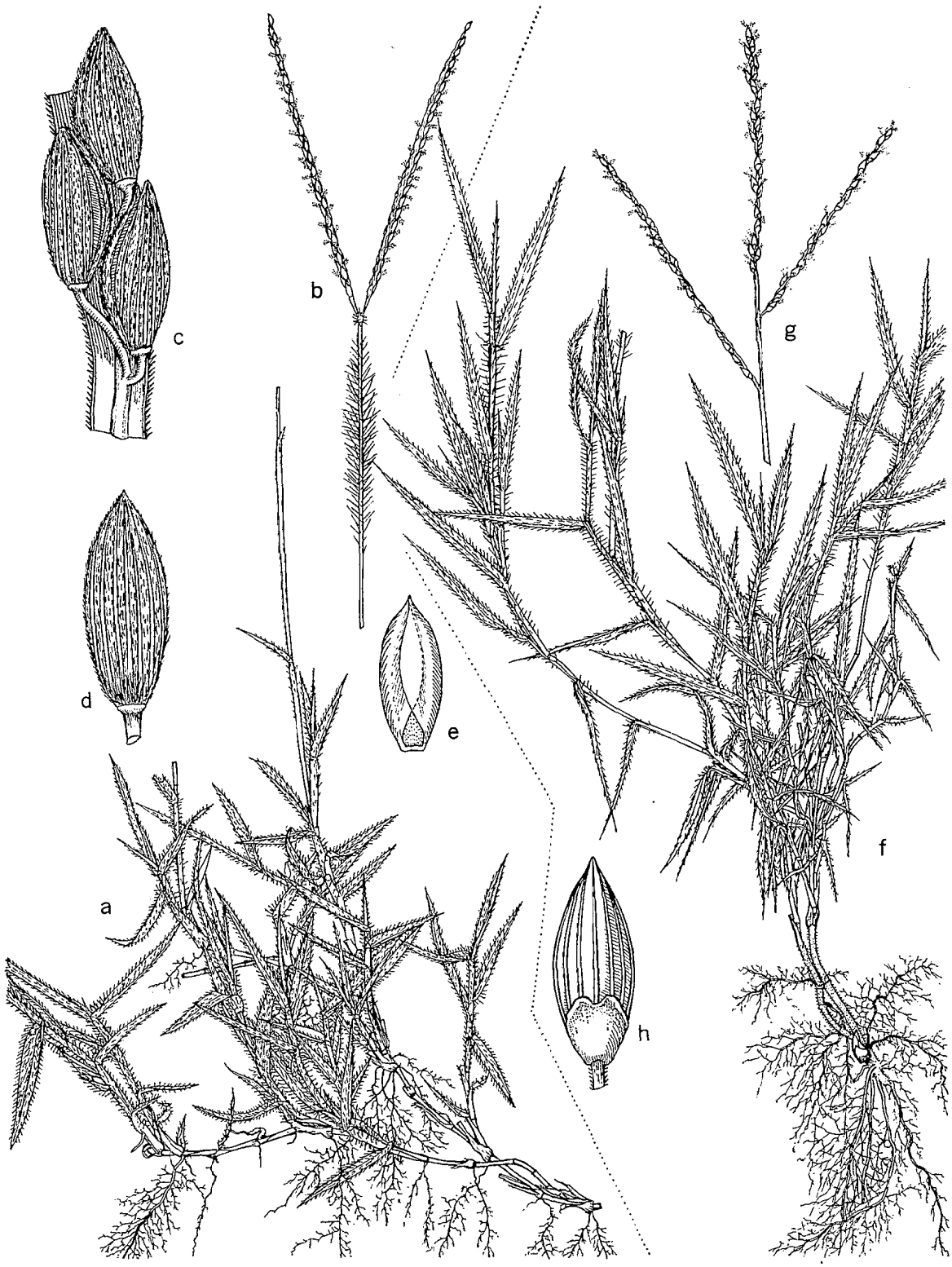
Noms communs : Petit gazon, Blue couch (Ile Maurice).

Herbe pérenne, rhizomateuse et stolonifère, gazonnante ; chaumes grêles, glabres, dressés, parfois genouillés à la base, de 10-40 cm de haut. Feuilles d'un vert un peu glauque, limbes linéaires, de 1,5-15 cm de long, rarement plus, sur 1-3 mm de large, glabres ou à pilosité éparse ; ligule représentée par une membrane glabre, assez longue (2-2,5 mm).

Inflorescences digitées sur un pédoncule grêle, glabre ; formées de 2-4 racèmes (le plus souvent 2-3) grêles, sessiles ou brièvement pédonculés, obliquement dressés, ayant 2 à 8 cm de long. Epillets lancéolés aigus, étroits, de 2,2-2,8 mm de long, géminés, inégalement pédicellés, pédicelles les plus longs atteignant 2 mm ; glume inférieure réduite à une petite écaille ovée obtuse ou tronquée au sommet ; glume supérieure lancéolée étroite, atteignant 2/3 à 3/4 de la longueur de l'épillet, finement pileuse sur les marges, à 3 nervures saillantes ; fleur inférieure vide, lemma de la taille et de la forme de l'épillet, à 7 nervures saillantes, finement pileuse le long des marges et parfois entre les nervures ; fleur supérieure aussi longue que l'épillet, lancéolée aiguë, à glumelles chartacées, jaune pâle.

Espèce répandue dans le monde tropical, existant en Afrique, en Asie, en Australie, aux Mascareignes. Commune à Madagascar, dans le domaine humide et chaud de l'Est, surtout à base altitude. Fréquente dans la bande côtière, où elle forme souvent des gazons denses et ras, vert pâle un peu bleuté, sur les anciennes dunes stabilisées. Elle monte en altitude jusqu'à 800-1 000 m mais y est plus rare. Elle est parfois associée à *Panicum umbellatum*. C'est une bonne plante pour constituer des pelouses, sur la côte Est. L'inflorescence est assez souvent parasitée par un charbon. Henrard a distingué sous le nom

FIG. 140. — *Digitaria Perrottetii* (Kunth) Stapf : a, base d'une plante ; b, inflorescence (longue de 10 - 25 cm) ; c, épillet face ventrale (long de 1,7 - 1,8 mm) ; d, épillet face dorsale. — *Digitaria minutiflora* (Rich.) Stapf : e, plante fleurie (haute de 15 cm à 1 m) ; f, épillet face ventrale (long de 1 - 1,3 mm) ; g, épillet, face dorsale.


a
b
c
d
e
f
g
h

de *D. psammophila* Henr. une plante du Sud, très proche de *D. didactyla* Willd., mais plus grossière et plus pileuse. Une étude plus approfondie amènera vraisemblablement à confondre ces deux espèces.

$2n = 18$ (Tateoka).

7. **D. timorensis** (Kunth) Balansa (fig. 143).

Herbe grêle, annuelle ; chaumes trainant sur le sol à la base, enracinés et ramifiés aux nœuds, puis genouillés ascendants, ayant de 30 à 40 cm de haut. Feuilles à limbes linéaires, de 2-10 cm de long sur 3-6 mm de large, plans, glabres, ou avec quelques poils fins à la base ; ligule représentée par une membrane tronquée, glabre.

Inflorescences digitées, formées de 2-4 racèmes (parfois plus et jusqu'à 6-8), grêles, obliquement dressés, ayant de 5-10 cm de long. Epillets étroitement lancéolés aigus, de 2,5-3 mm de long, vert pâle, apprimés contre l'axe, géminés, inégalement pédicellés, l'un subsessile, l'autre à pédicelle de 1-2 mm de long ; glume inférieure parfois absente ou réduite à une très petite écaille ; glume supérieure lancéolée étroite, de 1/3 à 1/2 de la longueur de l'épillet, finement pileuse, 3-nervée ; fleur inférieure vide, lemma de la taille et de la forme de l'épillet, à 5-7 nervures, (les latérales écartées vers les marges, si bien qu'en général on ne voit que 3 nervures sur la face ventrale de l'épillet), pileuse le long des marges et entre les nervures latérales, poils d'abord apprimés, puis plus ou moins étalés et hirsutes à maturité ; fleur supérieure ♀, un peu plus courte, lancéolée aiguë à subacuminée, jaune, à glumelles finement chartacées.

Espèce de l'archipel indo-malais et de l'Asie du Sud-Est. Commune aux Mascareignes, où elle est une mauvaise herbe des champs de canne à sucre, mais elle est toutefois facile à contrôler.

A Madagascar, c'est une plante de la zone forestière humide de moyenne altitude : 800-1 300 m. On la trouve sporadiquement sur les lisières, au bord des chemins. Elle est assez fréquemment adventice dans les cultures sèches et sur les jachères après les « tavy ».

8. **D. biformis** Willd (fig. 147).

Noms malgaches : Ahipody, Ahidahy.

Herbe annuelle, en touffes lâches ; chaumes genouillés ascendants, parfois enracinés aux nœuds inférieurs, glabres, de 30 cm à 1 m de haut. Feuilles souvent d'un vert un peu glauque, gaines glabres ou pubescentes, ou portant des poils sétacés raides à base tuberculée ; limbes plans à marges souvent ondulées crispées, linéaires, de 3-15 cm de long sur 4-8 mm de large, le plus souvent munis de poils sétacés à base tuberculée ; ligule représentée par une membrane tronquée assez longue (2,5-3 mm de haut).

Inflorescences digitées, formées de 3-9 racèmes obliquement dressés, de longueur variable (4-20 cm), à axe rigide, un peu ondulé, de 0,7-1 mm de large, vert pâle, d'aspect argenté, un peu brillant, causé par la pilosite des épillets. Epillets lancéolés aigus, étroits, de 3-4 mm de long, apprimés contre l'axe, géminés, l'un subsessile, l'autre pédicellé, pédicelle atteignant 2 mm de long ; l'épillet pédicellé différent de l'épillet sessile, plus pileux et, à maturité, poils se hérissant en une frange hirsute sur le pourtour de l'épillet ; épillet sessile glabre ou paraissant glabre ; glume inférieure réduite à une petite écaille ; glume supérieure atteignant des 2/3 au 3/4 de la longueur de l'épillet, lancéolée, plus étroite que l'épillet, 3-nervée, pileuse

FIG. 141. — *Digitaria longiflora* Pers. : a, fragment de la base d'une plante ; b, inflorescence (forme à sommet du pédoncule pileux, plus rare que la forme glabre) ; c, fragment de racème, montrant un groupe de 3 épillets (épillets longs de 1,3 - 1,8 mm) ; d, épillet, face ventrale ; e, fleur fertile, face ventrale. — *Digitaria Humbertii* A. Camus : f, fragment de la base d'une plante ; g, inflorescence (racèmes longs de 2 - 6 cm) ; h, épillet, face ventrale (long de 2 - 2,2 mm).


a
b
c
d
e
f
g
h
Razafindrabote Ed.

sur les marges et entre les nervures, poils d'abord apprimés puis étalés pour l'épillet pédicellé ; fleur inférieure vide, lemma de la taille et de la forme de l'épillet, 7-nervée, pour l'épillet sessile presque glabre ou un peu pileuse sur les marges, pour l'épillet pédicellé très pileuse le long des marges et entre les premières et deuxième paires de nervures latérales, poils finalement hérissés ; fleur supérieure ♀, lancéolée aiguë, un peu plus courte que l'épillet, à glumelles jaunes, chartacées.

Espèce de régions tropicales, se retrouvant aux Indes, en Arabie, aux Mascareignes et aux îles Comores. Elle est commune à Madagascar dans les domaines subaride du Sud et subhumide de l'Ouest. C'est une plante de stations sèches et ensoleillées, qui se comporte comme une rudérale. C'est une adventice fréquente des cultures sèches, sur alluvions et sols ferrugineux tropicaux sableux (sables roux). Elle est assez abondante sur certaines jachères. Occasionnellement, elle peut aussi être trouvée dans les savanes herbeuses à *Heteropogon contortus*. C'est un bon fourrage, mais peu productif et existant la plupart du temps sous forme de pieds isolés.

9. **D. adscendens** (H.B.K.) Henr. (fig. 142).

Herbe annuelle, en touffes lâches ; chaumes glabres, un peu couchés à la base, enracinés aux nœuds puis genouillés ascendants, de 15-60 cm de haut. Feuilles glabres ou pileuses, à limbes linéaires, plans, de 2-6 cm de long sur 2-8 mm de large, parfois plus grands ; ligule représentée par une membrane glabre tronquée, de 1-2 mm de haut.

Inflorescences digitées ou subdigitées sur un axe court (au plus 2,5 cm de long), formées de 2-6 racèmes (jusqu'à 15 d'après C.E. Hubbard), obliquement dressés, ayant de 3-12 cm de long, à axe assez rigide de 0,7-0,8 mm de large. Epillets elliptiques lancéolés, étroits, aigus, ne paraissant pas pileux, verts ou pourpres, de 3-3,2 mm de long, géminés et inégalement pédicellés, l'un subsessile, l'autre à pédicelle atteignant 2-4 mm de long ; glume inférieure réduite à une petite écaille triangulaire ; glume supérieure étroitement lancéolé, dépassant la 1/2 de la longueur de l'épillet et pouvant atteindre les 3/4, 3-nervée, pileuse entre les nervures et le long des marges ; fleur inférieure vide, lemma de la forme et de la taille de l'épillet, à 7 nervures un peu saillantes, finement pileuse le long des marges et parfois entre les première et deuxième paires de nervures latérales, poils d'abord apprimés et peu visibles ; fleur supérieure ♀, lancéolée aiguë, de la taille de l'épillet, à glumelles chartacées, jaunes ou légèrement violacées.

Espèce pantropicale, assez commune à Madagascar dans les domaines humides de l'Est et subhumide du centre, plus rare dans l'Ouest. C'est essentiellement une rudérale et une adventice des cultures sèches, localement assez abondante. Elle monte en altitude jusqu'à 2 000 m. Elle est proche de *D. sanguinalis* (Linn). Scop. des régions tempérées, cette dernière espèce ayant la lemma de la fleur inférieure à nervures scabres. Elle existe sans doute aussi à Madagascar mais elle est rare.

D. adscendens est un bon fourrage, mais peu productif.

$2n = 54$ (Tateoka).

10. **D. horizontalis** Willd. (fig. 143).

Herbe annuelle en touffes lâches ; chaumes glabres, à base parfois couchée, radicants aux nœuds inférieurs puis genouillés ascendants, ayant de 30-90 cm de haut. Feuilles basales à gaines munies de poils hirsutes à base tuberculée ; gaines des feuilles caulinaires glabres ou presque, limbes linéaires plans, de

---

FIG. 142. — *Digitaria didactyla* Willd. : a, base d'une plante ; b, inflorescence (racèmes longs de 2 - 8 cm) ; c, épillet, face ventrale ; d, épillet, dos (long de 2,2 - 2,8 mm). — *Digitaria adscendens* (H.B.K.) Henr. : e, fragment de la base d'un chaume ; f, inflorescence (racèmes longs de 3 - 12 cm) ; g, épillet, face ventrale ; h, épillet, dos (long de 3 - 3,2 mm).


b
c
g
f
h
d
a
e
Razafindrakoto Ed.

texture molle, de glabres à densément pileux, ayant 2-15 cm de long sur 3-10 mm de large ; ligule membraneuse, glabre, tronquée, de 1 mm de haut environ.

Inflorescences formées de 4-15 racèmes insérés sur un axe plus ou moins allongé (2-7 cm) ; racèmes grêles, d'abord obliquement dressés puis ceux de la base étalés, de 4-15 cm de long, axes des racèmes portant souvent de longs poils fins très dispersés. Epillets étroitement lancéolés, de 2-2,5 mm de long, pileux, mais à poils apprimés entre les nervures et peu visibles, géminés, l'un subsessile, l'autre à pédicelle de 1,5-3 mm de long ; glume inférieure réduite à une petite écaille triangulée mais toujours présente ; glume supérieure lancéolée étroite, atteignant 1/2 de la longueur de l'épillet ou un peu plus courte, 3-nervée, pileuse le long des marges et entre les nervures ; fleur inférieure vide, lemma de la taille et de la forme de l'épillet, à 7 nervures un peu saillantes, pileuse le long des marges et entre les première et deuxième paires de nervures ; fleur supérieure ♀ lancéolée aiguë, à glumelles chartacées, jaunes ou un peu violacées.

Espèce américaine, que l'on trouve aussi en Afrique. A Madagascar, elle est fréquente dans les régions chaudes et humides de l'Est et du Sambirano, plus rare dans l'Ouest où elle végète sur des bas-fonds restant un peu humides en saison sèche. Elle ne monte pas en altitude, où elle est remplacée par l'espèce affine *D. divaricata* qui ne se distingue guère que par sa deuxième glume plus développée.

C'est une plante rudérale, des bords de chemins et des jachères, une mauvaise herbe des cultures sèches. Elle est localement abondante sans pour autant être grégaire et former des peuplements étendus.

11. **D.** aff. **divaricata** Henr. (fig. 139).

Herbe annuelle, de même port que la précédente ; chaumes atteignant 15-60 cm de haut. Feuilles à gaines glabres ou hérissées de poils à base tuberculée ; limbes linéaires plans, de 3-8 cm de long sur 3-8 mm de large, glabres ou plus ou moins densément pileux ; ligule membraneuse, glabre, tronquée, de 1,5-2 mm de haut.

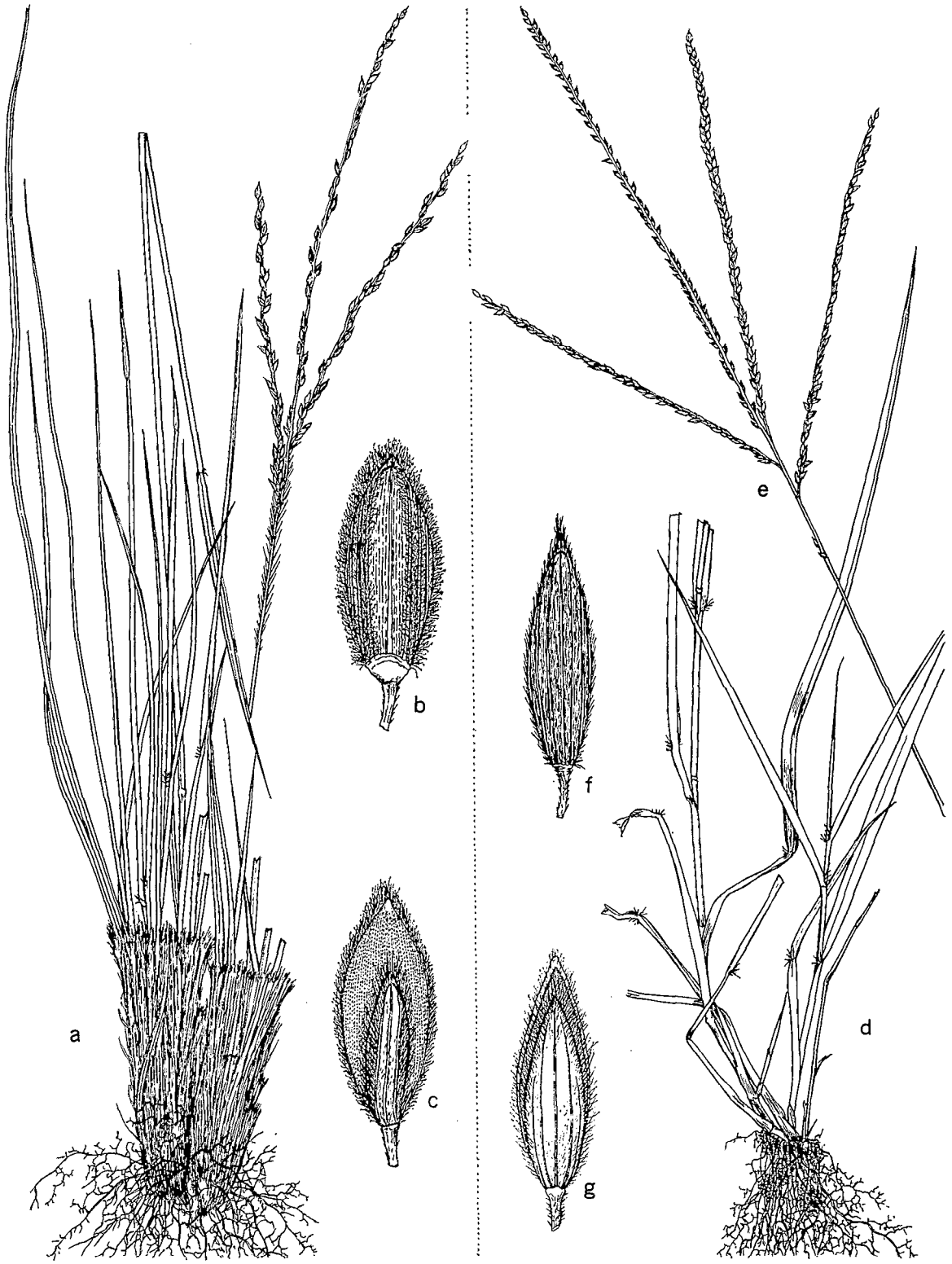
Inflorescences formées de 4-15 racèmes, échelonnés le long d'un axe grêle pouvant atteindre 9 cm de long (seulement 1,5 cm sur certains échantillons dépaupérés) ; racèmes insérés isolément ou rapprochés par deux, obliquement dressés, de 4-15 cm de long, portant le plus souvent de longs poils fins, surtout à la base. Epillets lancéolés, 2-2,5 mm de long, verts ou pourpres ; glume inférieure représentée par une petite écaille ou parfois presque absente ; glume supérieure, atteignant les 3/4 de la longueur de l'épillet, par ailleurs, caractères de l'épillet identiques à ceux de *D. horizontalis*.

Espèce rudérale commune sur tous les plateaux de Madagascar au-dessus de 800 m d'altitude, fréquente aussi dans les cultures sèches, localement abondante, mais comme la précédente ne formant pas de peuplements étendus. N'est peut-être qu'une forme de *D. horizontalis*.

12. **D. minutiflora** (A. Rich.) Stapf (fig. 140).

Herbe annuelle, en touffes très grêles, parfois réduites à 1 ou 2 chaumes ; chaumes simples ou ramifiés aux nœuds inférieurs, dressés, parfois genouillés à la base, glabres, nœuds pileux, ayant de 15 cm à 1 m de haut. Feuilles à gaines glabres ou pileuses et hirsutes, limbes linéaires, de 5-25 cm de long sur 2-6 mm de large, plans, glabres ou munis de quelques longs poils épars à la base ; ligule représentée par une membrane courte et tronquée, ciliolée au sommet.

FIG. 143. — *Digitaria timorensis* (Kunth) Balansa : a, fragment de chaume ; b, inflorescence (racèmes longs de 5 - 10 cm) ; c, épillet, face ventrale ; d, épillet, dos (long de 2,5 - 3 mm). — *Digitaria horizontalis* Willd. : e, base de chaume ; f, inflorescence (racèmes longs de 4 - 15 cm) ; g, épillet, face ventrale ; h, épillet, dos (long de 2 - 2,5 mm).


a
b
c
d
e
f
g

Inflorescences nettement exsertes sur des pédoncules grêles, glabres, formées de nombreux racèmes (en général de 10 à 20, mais parfois seulement 3-4 sur les échantillons dépaupérés) insérés sur un axe atteignant jusqu'à 8 cm de long ; axe des racèmes très grêles, sinueux, ceux de la base ayant de 3 à 12 cm de long. Epillets ovés aigus, de 1-1,3 mm de long, glabres, insérés par petits groupes de 2-4, inégalement pédicellés, les pédicelles les plus longs ayant 3 mm ; pédicelles munis, près du sommet, de longs poils sétacés raides ; glume inférieure absente ; glume supérieure réduite à une écaille hyaline de 1/5 à 1/4 de la longueur de l'épillet, sans nervure ; fleur inférieure, réduite à la lemma, celle-ci de la taille et de la forme de l'épillet, à 3 nervures saillantes ; fleur supérieure ♀, ovée aiguë, aussi longue que l'épillet, à glumelles chartacées, brun clair devenant brun foncé à maturité.

Espèce africaine qui existe à Madagascar sur les plateaux entre 800 et 1 500 m. C'est une rudérale et une adventice des cultures sèches, abondante localement. Elle existe aussi dans l'Est mais elle y est plus rare.

13. **D. setifolia** Stapf (fig. 144).

Herbe pérenne, en touffes très denses, les vieilles gaines persistant à l'extérieur et se désagrégeant en fibres grossières, brunes ; chaumes dressés, grêles, de 20-60 cm de haut, pileux sous les inflorescences, nœuds pileux. Feuilles à limbes étroitement enroulés, linéaires, sétacés, de 5-20 cm de long, glabres ; ligule réduite à une courte membrane tronquée.

Inflorescences digitées ou subdigitées, formées de 2-4 racèmes grêles, dressés, de 4-12 cm de long, l'un parfois inséré nettement sous les autres. Epillets elliptiques, un peu aigus au sommet, de 3-4 mm de long, pileux, poils brun rouge à sommet épaissi en tête d'épingle (ce caractère ne peut être vu qu'à un fort grossissement) ; glume inférieure réduite à une membrane mince, hyaline, très courte ; glume supérieure atteignant les 4/5 de la longueur de l'épillet, lancéolée aiguë, plus étroite que l'épillet, 3-nervée, pileuse entre les nervures ; fleur inférieure vide, lemma aussi longue et de même forme que l'épillet, à 7 nervures saillantes, abondamment pileuse le long des marges et entre les première et deuxième paires de nervures latérales ; fleur supérieure ♀, aussi longue ou presque que l'épillet, à glumelles chartacées, brun noirâtre.

Espèce d'Afrique du Sud, qui n'avait pas jusqu'à présent été signalée à Madagascar. Elle existe sur les plateaux (environs de Tananarive, Ambatolampy). Elle fait partie des savanes ouvertes dégradées, sur sols ferrallitiques en pente forte, où elle accompagne *Aristida rufescens* et *Loudetia madagascariensis*. Elle semble fleurir très rarement, vraisemblablement seulement après les feux, ce qui explique qu'elle n'ait pas souvent été récoltée, et nous pensons que l'espèce est plus commune que le nombre actuel des récoltes ne semble l'indiquer. A l'état stérile elle est cependant assez reconnaissable, grâce à ses feuilles filiformes et aux fibres brunes, grossières, qui entourent la touffe et la protège contre les feux.

En Afrique du Sud, elle est signalée en stations humides.

Elle est sans intérêt en tant que fourrage.

14. **D. longiflora** (Retz.) Pers. (fig. 141).

Herbe pérenne, à stolons allongés, ramifiés, enracinés aux nœuds, couchés sur le sol ; chaumes florifères grêles, dressés, glabres, de 10-45 cm de haut. Feuilles glabres ou pileuses, à limbes parfois petits et

---

FIG. 144. — *Digitaria setifolia* Stapf : a, fragment de la base d'une plante et chaume fleuri (hauteur : jusqu'à 60 cm) ; b, épillet face ventrale (long de 3 - 4 mm) ; c, épillet, face dorsale. — *Digitaria madagascariensis* Bosser : d, base d'une plante ; e, inflorescence (racèmes les plus longs pouvant atteindre 15 cm) ; f, épillet, face ventrale (long de 2,2 - 2,6 mm) ; g, épillet face dorsale.


a
b
c
d
e
f
g
h

lancéolés, arrondis à la base, de 1-2 cm de long sur 2-3 mm de large, ou linéaires et pouvant atteindre 6-8 cm de long sur 5-6 mm de large ; ligule représentée par une membrane courte, tronquée, glabre.

Inflorescences longuement exsertes sur des pédoncules filiformes très grêles, formées le plus souvent de 2 racèmes digités (plus rarement 3), obliquement dressés, grêles, sessiles ou subsessiles, de 2-8 cm de long. Epillets ovés, de 1,3-1,8 mm de long, apprimés contre l'axe, pileux, poils fins entre les nervures des glumes supérieures et lemmas inférieures, blanc argenté, étroitement appliqués ; épillets insérés par 3, à pédicelles inégaux, les plus longs ayant 2-2,5 mm ; glume inférieure absente ou représentée par une imperceptible membrane ; glume supérieure de la taille et de la forme de l'épillet, à 5-7 nervures un peu saillantes ; fleur inférieure réduite à la lemma, semblable à la glume supérieure ; fleur supérieure ♀, ovée aiguë, à glumelles chartacées, lisses.

Espèce commune sous tous les tropiques. Fréquente à Madagascar sur les plateaux et dans le domaine humide de l'Est, plus rare dans l'Ouest. Elle monte en altitude jusqu'à 2 200 m environ et descend vers le Sud jusque sur les plateaux grèseux de l'Isalo.

C'est une plante en général de station sèche, ensoleillée. Elle occupe les bords de chemins, est adventice dans les cultures sèches, couvre parfois les jachères, sur sol usé, d'un tapis très ras, dominé par les hampes très grêles des inflorescences. Elle accepte aussi des stations un peu humides mais non submergées : colluvions de bas de pente, diguettes de rizières. Dans l'Ouest, elle fait assez souvent partie, localement, de la savane herbeuse à *Aristida rufescens*, où elle couvre parfois le sol entre les graminées cespiteuses.

Ses exigences au point de vue sol sont lâches, mais elle ne supporte pas l'inondation, on ne la trouve donc pas sur sols à hydromorphie superficielle. C'est une plante rustique, pionnière, colonisant les plaques de sol restées nu. Elle est sans intérêt en tant que fourrage.

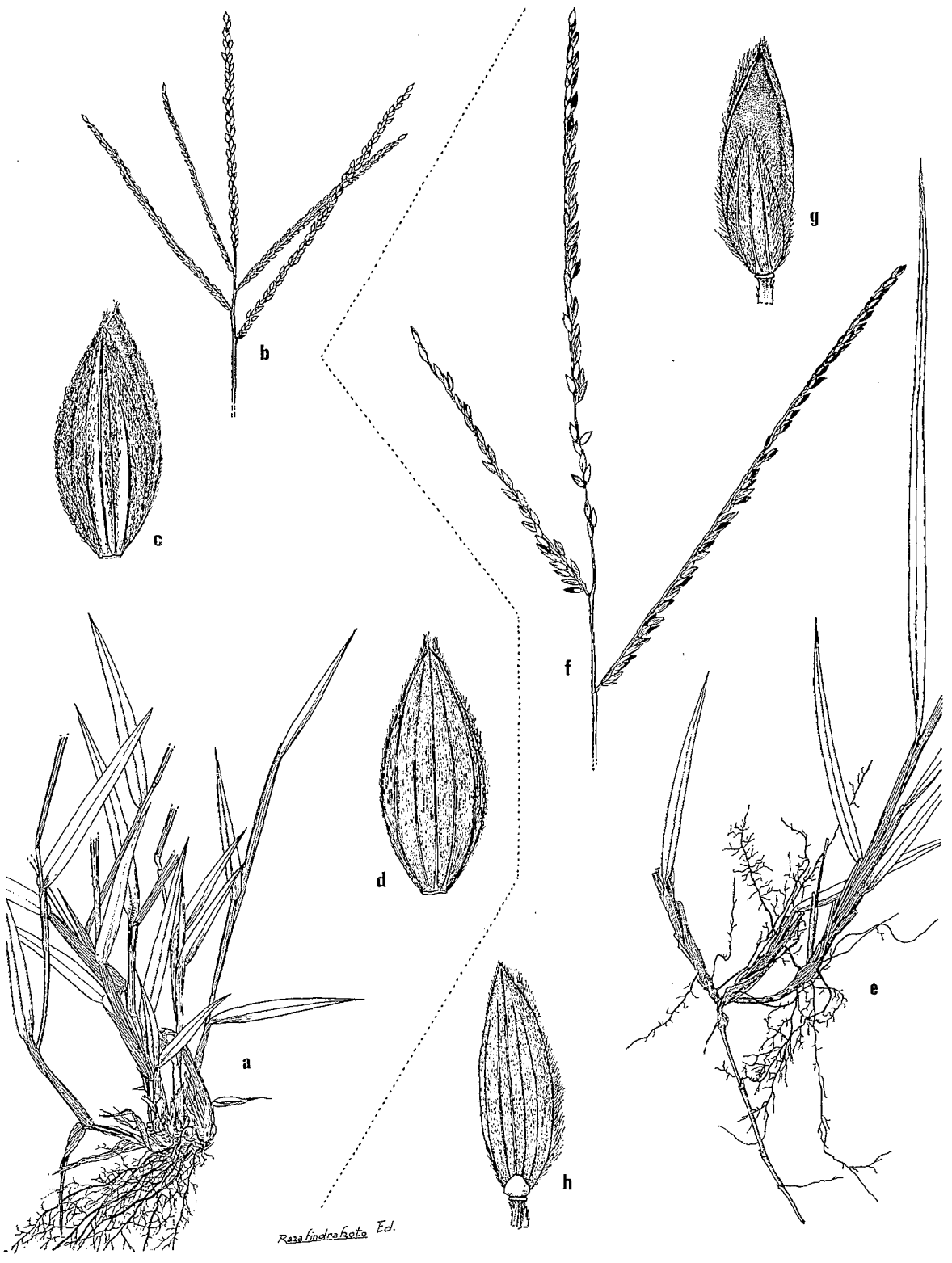
5. **D. Thouaresiana** (Fluegge) A. Camus (fig. 145).

Herbe annuelle, en touffes lâches ; chaumes dressés, parfois genouillés à la base, simples ou ramifiés, glabres, de 15 cm à 1 m de haut ; nœuds glabres. Feuilles à limbes linéaires, plans, de 5-20 cm de long sur 3-8 mm de large, glabres ou à pilosité lâche ; ligule représentée par une courte membrane glabre, tronquée.

Inflorescences exsertes, formées de 3-8 racèmes grêles, subdigités, insérés sur un axe court, de 5 cm de long au plus ; racèmes souvent arqués, de longueur très variable suivant le développement de la plante : 4-18 cm, axes glabres, un peu sinueux, de 0,7-0,8 mm de large. Epillets ovés subaigus, de 1,3-1,4 mm de long, à pilosité très courte, insérés, dans la partie médiane des racèmes, par groupe de 3-5, tous pédicellés, mais inégalement, les pédicelles les plus longs pouvant atteindre 2 mm ; glume inférieure absente ou réduite à une petite bordure hyaline ; glume supérieure ayant des 2/3 aux 4/5 de la longueur de l'épillet, 3-nervée, ayant le long des marges et entre les nervures des zones de poils courts, épaissis et arrondis au sommet (visibles à un assez fort grossissement) ; fleur inférieure vide, lemma de la taille et de la forme de l'épillet. à 5 nervures saillantes, ayant le long des marges et entre les nervures des zones de poils semblables à ceux de la glume supérieure ; fleur supérieure aussi longue que l'épillet, à glumelles chartacées, brun noirâtre.

Espèce existant à Madagascar et aux îles Comores.

FIG. 145. — *Digitaria atrofusca* (Hack.) A. Camus : a, base d'une plante ; b, inflorescence (racèmes longs de 6 - 15 cm) ; c, épillet, face dorsale (long de 1,8 - 2,2 mm) ; d, épillet, face ventrale. — *Digitaria Thouaresiana* (Fluegge) A. Camus : e, base d'une plante, f, inflorescence (racèmes longs de 4 à 18 cm) ; g, épillet, face ventrale (long de 1,3 - 1,4 mm) ; h, épillet, face dorsale.


a
b
c
d
e
f
g
h
Razafindrakoto Ed.

C'est surtout une plante de zone humide et chaude (domaine de l'Est), montant cependant jusqu'à 800 m d'altitude. C'est une adventice assez fréquente des cultures sèches et une rudérale qui occupe les bords des chemins, les abords de villages. On la rencontre sporadiquement, sous forme de pieds isolés.

16. **D. violascens** Link (fig. 146).

Herbe annuelle, en touffes lâches ; à chaumes dressés, ou un peu couchés à la base puis genouillés et ascendants, grêles, glabres, de 10-30 cm de haut. Feuilles à limbes linéaires, plans, glabres, de 1-8 cm de long sur 2-4 mm de large ; ligule représentée par une membrane glabre et tronquée.

Inflorescences digitées ou subdigitées formées de 2-6 racèmes (le plus souvent 2-3) grêles, obliquement dressés, droits ou un peu courbés, de 2-8 cm de long, à axe aplati, atteignant 1 mm de large. Epillets ovés ou elliptiques, aigus, de 1,7-1,8 mm de long, d'aspect blanc-argenté, insérés par 3 sur des pédicelles inégaux, les plus longs ayant 2 mm environ ; glume inférieure absente, glume supérieure aussi longue que l'épillet ou un peu plus courte, lancéolée, étroite, 3-nervée, ayant des lignes de poils fins, apprimés, le long des marges et entre les nervures ; fleur inférieure vide, lemma de la taille et de la forme de l'épillet, à 5 nervures un peu saillantes, ayant, le long des marges et entre les première et deuxième paires de nervures latérales les même poils fins que la glume supérieure ; fleur supérieure ♀, à glumelles chartacées, brun pâle à brun foncé.

Espèce des régions tropicales d'Amérique et d'Asie, qui n'avait pas jusqu'à présent été signalée à Madagascar. C'est une plante de la zone chaude et humide de l'Est. Elle se comporte comme une rudérale et une adventice des cultures sèches. Elle n'est pas fréquente, on en trouve seulement des pieds isolés, les récoltes provenant des régions de Fénérive, Tamatave, Mananjary.

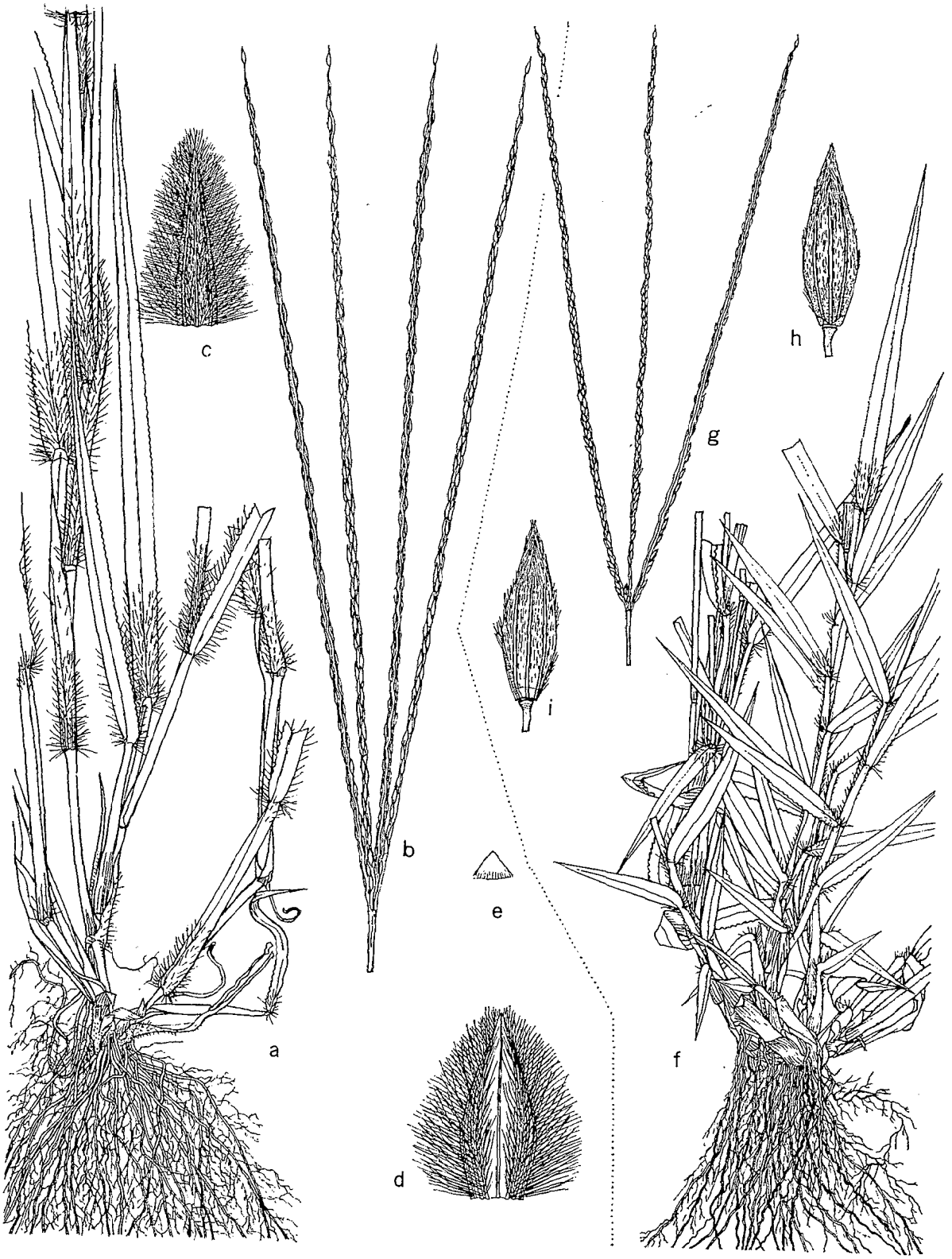
17. **D. argyrotricha** (Anderss.) Chiov. (fig. 147).

Herbe annuelle, en touffes lâches ; chaumes grêles, glabres, genouillés ascendants, simples ou ramifiés aux nœuds, de 30-70 cm de haut. Feuilles à gaines comprimées carénées, limbes linéaires lancéolés ou linéaires, de 2-10 cm sur 4-8 mm, plans, glabres ou munis à la base de quelques longs poils, marges un peu ondulées crispées ; ligule représentée par une membrane glabre, tronquée.

Inflorescences digitées, formées de 2-3 racèmes dressés, d'aspect soyeux, blancs, de 4-15 cm de long, à axes assez raides, aplatis, de 0,8-1 mm de large. Epillets lancéolés aigus, subacuminés, environ de 2 mm de long, manifestement pileux soyeux, apprimés contre l'axe, insérés par 3 dans la partie médiane des racèmes, inégalement pédicellés, pédicelles les plus longs ayant 1-2 mm ; glume inférieure réduite à une membrane hyaline très fine entourant la base de l'épillet (se désagrégeant tôt et pas toujours très perceptible) ; glume supérieure aussi longue que l'épillet, à 3 nervures saillantes, munie le long des marges et entre les nervures de poils fins, apprimés, argentés, dépassant le sommet de l'épillet ; fleur inférieure vide, lemma de la longueur et de la forme de l'épillet, 5-nervée, munie de la même pilosité que la glume supérieure ; fleur supérieure ♀, un peu plus courte, glumelles chartacées, jaunes à brun pâle.

Espèce africaine (Mozambique, Afrique de l'Est) ; introduite fortuitement et récemment par le port de Tamatave. Elle rayonne en se propageant le long des routes tout autour de cette ville et semble devoir se naturaliser rapidement.

FIG. 146. — *Digitaria violascens* Link. : a, base d'une plante ; b, inflorescence (racèmes longs de 2 - 8 cm) ; c, épillet, dos (long de 1,7 - 1,8 mm) ; d, épillet, face ventrale. — *Digitaria fulva* Bosser : e, base d'une plante et rhizome ; f, inflorescence (racèmes de 3 - 12 cm) ; g, épillet, dos (long de 2,7 - 3,5 mm) ; h, épillet, face ventrale.


a
b
c
d
e
f
g
h
i

18. **D. atrofusca** (Hack.) A. Camus (fig. 145).

Herbe pérenne, en touffes parfois assez diffuses, rhizome grêle, court ; chaumes dressés, parfois genouillés à la base, simples, glabres, ayant de 30 cm à 1 m de haut. Feuilles à limbes linéaires, de 10-25 cm de long sur 2,5-4 mm de large, plans ou enroulés, glabres ou munis de longs poils derrière la ligule ; ligule représentée par une membrane arrondie, assez longue, atteignant 2 mm de haut.

Inflorescences formées de 3-6 racèmes (souvent 3), subdigités, insérés sur un axe commun de 1 à 5 cm de long ; racèmes de 6-15 cm de long, subsessiles, d'abord obliquement dressés puis les latéraux étalés (quand il y a 3 racèmes, le terminal est dans le prolongement de l'axe, les 2 latéraux étant horizontalement ou subhorizontalement étalés). Epillets ovés ou elliptiques aigus, de 1,8-2,2 mm de long, groupés par 3 ou 4 dans la partie médiane des racèmes, inégalement pédicellés, les pédicelles les plus longs ayant 3-3,5 mm de long ; glume inférieure absente ou réduite à un mince rebord membraneux ; glume supérieure nettement plus courte que l'épillet (1/4 à 1/3 de sa longueur, rarement plus) très arrondie ou obtuse au sommet, 3-nervée, glabre ou parfois un peu pileuse au sommet près des marges ; fleur inférieure vide, lemma aussi longue que l'épillet ou presque, à 7 nervures saillantes, glabres ou avec quelquefois quelques poils fins à la base, entre les nervures latérales ; fleur supérieure ♂, de la taille et de la forme de l'épillet, à glumelles chartacées, brun noirâtre à maturité.

Espèce endémique, commune sur les plateaux au-dessus de 900-1 000 m d'altitude. C'est sans doute à l'origine une espèce de lisière forestière ou de la végétation secondaire (savoka) à *Philippia*. Elle s'est adaptée à des stations plus ensoleillées et est fréquente dans les savanes herbeuses à *Aristida* et *Loudetia* sur sols ferrallitiques secs, érodés. Elle n'est pas grégaire et pousse isolément entre les touffes des grosses graminées cespiteuses. On peut aussi la trouver dans des bas-fonds à sols hydromorphes, mais elle est plus rare dans ces stations. Elle donne un fourrage tendre mais son intérêt est limité car elle produit peu.

19. **D. madagascariensis** Bosser (fig. 144).

Herbe pérenne, en touffes assez denses ou à rhizomes diffus ; chaumes grêles, glabres, simples, ayant de 50 à 90 cm de haut. Feuilles à limbes linéaires étroits, de 5-20 cm de long sur 2,5-4 mm de large, glabres à densément pileux, plans ou à marges enroulées ; ligule membraneuse, glabre, atteignant 1-1,5 mm de haut.

Inflorescences digitées ou subdigitées, portées par des pédoncules à pilosité fine plus ou moins dense au sommet, rarement glabres, formées de 2-3 racèmes grêles (rarement 1 seul), de 4-15 cm de long, sessiles ou subsessiles, obliquement dressés. Epillets ovés aigus, de 2,2-2,6 mm, insérés par 3-5 (dans la partie moyenne du racème), inégalement pédicellés, pédicelles les plus longs atteignant 3 mm ; glume inférieure réduite à une membrane courte, mince, hyaline, tôt caduque ; glume supérieure ovée aiguë, de 3/4 à 4/5 de la longueur de l'épillet, 3-5-nervée, ayant sur les marges et entre les nervures des zones de poils jaune pâle ou jaune doré, apprimés ; fleur inférieure réduite à la lemma, de la taille et de la forme de l'épillet, à 7 nervures saillantes, munie du même type de pilosité que la glume supérieure ; fleur supérieure ovée aiguë, aussi longue que l'épillet, marron ou brun foncé.

Espèce endémique des pâturages d'altitude de l'Ankaratra, entre 1 800 et 2 400 m. Elle est assez fréquente dans les prairies altimontaines à *Pentaschistis Perrieri* et *Loudetia madagascariensis*, sur sols

---

FIG. 147. — *Digitaria biformis* Willd. : a, fragment de la base d'une plante ; b, inflorescence (racèmes longs de 4 - 20 cm) ; c, glume supérieure de l'épillet pédicellé (longue de 2 - 3 mm) ; d, lemma de la fleur inférieure de l'épillet pédicellé (longue de 3 - 4 mm) ; e, glume inférieure. — *Digitaria argyrotricha* (Anderss) Chiov. : f, base d'une plante ; g, inflorescence (racèmes longs de 4 - 15 cm) ; h, épillet, face dorsale (long de 2 mm) ; i, épillet, face ventrale.


a
b
c
d
e
f
g
h
Razafindrakoto Ed.

ferrallitisés, très acides. On la trouve à plus basse altitude (1 200-1 500 m) mais en stations marécageuses. Elle compense un déficit de saturation plus élevé en s'adaptant à une station humide. C'est un bon fourrage mais qui produit peu.

20. **D. fulva** Bosser (fig. 146).

Herbe pérenne, rhizomateuse, en touffes denses ou plus ou moins diffuses ; chaumes grêles, glabres, ou portant des poils fins sous l'inflorescence, dressés, simples, ayant 20-60 cm de haut (atteignant plus rarement 1,20 m, quand elle pousse dans une végétation dense et élevée). Feuilles basales à gaines pubescentes, les caulinaires à gaines glabres ; limbes linéaires, plans, parfois teintés de pourpre, de 5-20 cm de long sur 2-3 mm de large, le plus souvent glabres et longuement ciliés à la base derrière la ligule ; ligule membraneuse tronquée, glabre.

Inflorescences digitées ou subdigitées, rarement réduites à 1 seul racème terminal, le plus souvent à 2-4 racèmes obliquement dressés, insérés sur un axe court ; racèmes grêles, sessiles, de couleur fauve ou brunâtre, ayant de 3-12 cm de long. Epillets oblongs ou elliptiques aigus, de 2,7-3,5 mm de long, pileux, insérés par 3-5 (dans la zone médiane des racèmes), ou parfois solitaires par avortement des autres épillets, inégalement pédicellés, pédicelles les plus longs atteignant 5 mm ; glume inférieure réduite à une membrane très fine, hyaline, sans nervure, se désagrégeant rapidement ; glume supérieure ovée, aiguë, ayant les 2/3 ou les 3/4 de la longueur de l'épillet, 5-nervée et munie de poils fins, apprimés, roux ou fauves entre les nervures ; fleur inférieure réduite à la lemma, de la taille et de la forme de l'épillet, 7-9 - nervée, portant la même pilosité que la glume supérieure ; fleur supérieure oblongue aiguë, aussi longue que l'épillet, à glumelles marrons ou brun foncé.

Espèce qui se limite aux hautes altitudes du massif de l'Ankaratra. Elle fait partie des pâturages à *Pentaschistis Perrieri* et *Loudetia madagascariensis*. Elle est peu fréquente. Elle fleurit en février-mars. Son intérêt en tant que fourrage est réduit.

21. **D.** aff. **seminuda** Stapf (fig. 148).

Herbe pérenne, rhizomateuse, à rhizomes diffus ; chaumes dressés, parfois genouillés à la base, glabres, de grêles à moyennement robustes ayant de 50 cm à 1,50 m de haut. Feuilles à limbes linéaires plans, de 10-60 cm de long sur 3-10 mm de large, glabres ou portant de longs poils sétacés à la base, derrière la ligule ; ligule représentée par une membrane tronquée ou arrondie au sommet, ciliolée (ce caractère n'étant pas toujours facile à observer.)

Inflorescences digitées ou subdigitées, portées par des pédoncules glabres (ou plus rarement à pilosité éparse et pauvre), formées de 2-7 racèmes grêles, obliquement dressés ou plus ou moins courbés, de taille variable, pouvant atteindre 20 cm de long, insérés sur un axe ayant au plus, pour les grands spécimens, 7-8 cm de long. Epillets lancéolés aigus, de 2,5-3,2 mm de long, pileux, insérés par groupe de 3-6, inégalement pédicellés, pédicelles les plus longs de 3-4 mm ; glume inférieure représentée par une étroite membrane, finement hyaline, se désagrégeant précocement ; glume supérieure, ovée obtuse, 3-5-nervée, de 1/2 à 2/3 de la longueur de l'épillet, à pilosité jaune dorée entre les nervures et le long des marges ; fleur inférieure à lemma de la taille et de la forme de l'épillet, 7-nervée, ayant la même pilosité que la glume supérieure ; fleur supérieure ♀, aussi longue que l'épillet, lancéolée aiguë, à glumelles marrons ou brun foncé.

FIG. 148. — *Digitaria* aff. *seminuda* Stapf : a, base d'une souche ; b, inflorescence (racèmes longs de 15 - 20 cm) ; c, épillet, dos (long de 2,5 - 3,2 mm) ; d, épillet face ventrale (1re glume tombée). - *Setaria Bathiei* A. Camus : e, fragment de souche ; f, détail d'une soie de l'inflorescence ; g, inflorescence (longue de 3 - 12 cm) ; h, épillet vu de dos (long de 2,5 mm) entouré de ses soies.

Herbe endémique, de station humide : prairies marécageuses, bords de ruisseaux, alluvions fraîches, diguettes de rizières, commune sur les plateaux entre 1 000 et 1 500 m d'altitude. Elle est assez variable quant à la robustesse. C'est une plante proche de *D. seminuda* qui est une espèce africaine. C'est un bon fourrage mais peu productif.

AXONOPUS P. Beauv.

Genre comptant surtout des plantes américaines, une espèce très largement répandue sous les tropiques existe à Madagascar.

Les plantes de ce genre rappellent les *Digitaria*, dont elles se distinguent essentiellement par l'orientation différente des épillets par rapport à l'axe des racèmes, et par la fleur fertile dont la lemma est à bords enroulés et non minces et plans.

A. compressus (Swartz) P. Beauv. (fig. 128).

Nom malgache : Ahipisaka

Nom anglo-saxon : Carpet-grass

Herbe pérenne, rhizomateuse et stolonifère, gazonnante ; chaumes dressés, grêles, glabres, comprimés, ayant de 15-50 cm de haut ; nœuds pileux. Feuilles à gaines comprimées, carénées, glabres, celles des jeunes pousses distiques et densément groupées ; limbes oblongs ou linéaires oblongs, obtus au sommet, plans, de 2-12 cm de long sur 4-12 mm de large, ciliés sur les marges, glabres par ailleurs à densément pubescents sur les 2 faces ; ligule réduite à une courte membrane tronquée.

Inflorescences subdigitées, finalement peu exsertes, formées de 2-5 épis sessiles, grêles, obliquement dressés ou étalés, de 3-9 cm de long, insérés sur un axe court. Epillets ovés aigus, solitaires, sessiles, de 2,5-3 mm de long ; glume inférieure absente, glume supérieure de la taille et de la forme de l'épillet, 5-nervée, à pilosité fine, lâche ; fleur inférieure à lemma semblable à la glume supérieure, pileuse, 4-nervée (le plus souvent la nervure médiane étant supprimée) ; fleur supérieure, nettement plus courte que l'épillet, ovée ou elliptique, obtuse et un peu pubescente au sommet, à glumelles finement chartacées, jaune pâle.

Espèce d'origine américaine, répandue dans toutes les régions chaudes du globe, fréquente à Madagascar dans les domaines chauds et humides de l'Est et du Sambirano, moins fréquente dans les domaines subhumides de l'Ouest et des plateaux où elle se cantonne sur des bas de pente et des bas-fonds restant frais en saison sèche. Dans l'Est, c'est une plante commune aux bords des routes, en lisières forestières, dans les bas-fonds et sur les alluvions des rivières. C'est aussi une adventice dans les cultures, surtout les cultures arbustives (caféiers, bananiers). Elle forme souvent une pelouse rase et fermée où ne s'introduisent que peu d'espèces compagnes. Elle donne un bon pâturage.

$2n = 40$ (Darlington et Janaki Ammal), 56-60 (Nuñez), 40-50-60 (Delay).

PASPALUM Linn.

Très grand genre répandu de par le monde, mais groupant surtout des espèces américaines. Nous retenons 7 espèces communes ou assez communes à Madagascar.

Ce genre est caractérisé par des racèmes dorsiventraux, solitaires, digités, ou échelonnés le long d'un axe commun, des épillets plan-convexes, souvent orbiculaires, solitaires ou géminés, en général brièvement pédicellés, à glume inférieure en général absente, glume supérieure développée et adossée à l'axe, lemma de la fleur fertile à bords épais et enroulés.

CLÉ DES ESPÈCES

1. Epillets très aplatis dorsiventralement et entourés d'une frange de longs poils fins.
   2. Epillets de 1,5-2 mm de long. Inflorescences à 2 racèmes finalement étalés, subhorizontaux.

      1. *P. conjugatum*

   2. Epillets de 3-4 mm de long ; inflorescences formées de 3-8 racèmes insérés sur un axe plus ou moins long.

      2. *P. dilatatum*

1. Epillets plus convexes, glabres ou à pilosité éparse mais sans frange de longs poils.
   3. Epillets solitaires, en 2 séries alternes sur l'axe du racème.
      4. Plante à rhizome et stolons longs, gazonnante. Epillets de 3-4 mm de long, aigus au sommet.

         3. *P. vaginatum*

      4. Plantes cespiteuses. Epillets subhémisphériques de 2-2,8 mm de long, arrondis au sommet.
         5. Inflorescences formées de 1-4 racèmes. Axes des racèmes de 1,5-2,2 mm de large.

            4. *P. Commersonii*

         5. Inflorescences formées de 4-10 racèmes. Axe des racèmes de 2-3,5 mm de large.

            5. *P. polystachyum*

   3. Epillets géminés, paraissant être sur 4 rangs.
      6. Epillets de 1,2-1,5 mm de long, à pilosité éparse et courte sur la glume supérieure et la lemma inférieure. Racèmes nombreux : 7-30.

         6. *P. paniculatum*

      6. Epillets de 2 mm de long, glabres. Racèmes 1-2 (rarement 3-4).

         7. *P. nutans*

1. **P. conjugatum** Berg. (fig. 149).

Nom malgache : Ahipisaka, Ahipisakalahy.

Noms communs : Herbe créole, Sourgrass, Yellow grass (Ile Maurice).

Herbe pérenne, stolonifère et gazonnante ; chaumes grêles, dressés, aplatis, de 20-60 cm de haut (parfois plus). Feuilles à gaines comprimées, glabres, mais ciliées le long des marges, limbes linéaires ou lancéolés linéaires, plans, de 4-20 cm de long sur 6-18 mm de large, aigus au sommet, glabres ou plus ou moins pubescents sur les deux faces ; ligule réduite à une courte membrane tronquée.

Inflorescences formées le plus souvent de 2 racèmes digités, grêles, de 4-15 cm de long, d'abord dressés obliquement puis subétalés, ce qui donne à la plante une allure caractéristique. Epillets largement elliptiques, un peu aigus au sommet, de 1,5-2 mm de long, très comprimés aplatis dorsiventralement, solitaires sur des pédicelles courts ; glume inférieure absente ; glume supérieure de la taille de l'épillet, à 2 nervures marginales portant de longs poils fins ; fleur inférieure à lemma semblable à la glume supérieure, mais à marges non pileuses ; fleur supérieure aussi longue que l'épillet, à glumelles finement chartacées, lisses, jaune pâle.


a
b
c
d
e
f
g
h

Espèce d'Amérique tropicale, répandue sous les tropiques. Elle est fréquente à Madagascar dans tout le domaine à climat chaud et humide : région forestière de l'Est, Sambirano ; elle monte en altitude jusqu'à 1 000-1 200 m. Elle est commune aux bords des chemins, sur les lisières forestières, sur les alluvions limoneuses des rivières où elle forme des tapis denses et ras, éliminant les autres espèces. C'est aussi une adventice dans les cultures arbustives (caféiers, bananiers).

Les épillets sont très caduques à maturité, et, par suite de leur configuration et de la frange de poils qui les cerne, adhèrent très facilement au pelage et aux pattes des animaux, aux souliers et aux vêtements, facilitant ainsi la dissémination de la plante. Elle passe pour être bonne fourragère.

$2n = 40$ (Tateoka).

2. **P. dilatatum** Poir. (fig. 150).

Nom anglo-saxon : Dallis-grass.

Noms communs : Herbe épée, Herbe codaya (Ile Maurice).

Herbe pérenne, cespiteuse ; chaumes glabres, dressés, parfois genouillés à la base, de 30 cm à 1 m de haut (jusqu'à 1,80 m exceptionnellement). Feuilles à gaines comprimées, glabres ou un peu pileuses ; limbes linéaires, de 8-45 cm de long sur 5-14 mm de large, plans, aigus au sommet, glabres, avec le plus souvent de longs poils derrière la ligule ; ligule représentée par une membrane bien développée pouvant atteindre 3-4 mm de haut.

Inflorescences formées de 2-12 racèmes (souvent 3 à 6), insérés isolément, échelonnés le long d'un axe grêle ; racèmes de 3-10 cm de long (rarement plus), obliquement dressés. Epillets largement ovés aigus, de 3-4 mm de long, vert jaunâtre, très aplatis dorsiventralement, géminés, paraissant sur 4 rangs, brièvement pédicellés ; glume inférieure absente ; glume supérieure de la taille et de la forme de l'épillet, 5-9-nervée, un peu pubescente sur le dos et munie d'une frange marginale de longs poils fins ; fleur inférieure à lemma assez semblable à la glume supérieure, 5-nervée, à marges également longuement pileuses mais de façon moins nette ; fleur supérieure ♀, suborbiculaire, plus courte que l'épillet, à glumelles jaunes, chartacées, lisses.

Espèce d'origine sud-américaine, introduite à Madagascar où elle a d'abord servi à faire des pelouses. Actuellement naturalisée dans les zones humides et subhumides de l'Est et du Centre ; cependant assez peu fréquente (environs de Tananarive, Antsirabe et Tamatave) on la trouve en bordure de chemin, sur les diguettes de rizières, sur des alluvions limoneuses humides.

C'est une excellente plante fourragère qui convient pour le paturage sur sols frais et bas-fonds gardant beaucoup d'humidité. Elle résiste à une submersion temporaire. Elle s'établit assez lentement et on peut l'employer en mélange avec une autre graminée (*Chloris gayana*) pour pallier à cet inconvénient. On l'associe aussi parfois à une légumineuse (*Trifolium repens*). Le fourrage peut aussi être ensilé ou fané. La plante graine convenablement et peut être établie par semis. A l'île de la Réunion, elle est naturalisée en altitude (Plaine des Cafres, 1 500 m) où elle résiste aux gelées.

$2n = 40$ (Burton).

FIG. 149. — *Paspalum conjugatum* Berg. : a, base d'une plante ; b, inflorescence (racèmes longs de 4 - 15 cm) ; c, fleur supérieure fertile, face ventrale ; d, épillet, face ventrale (long de 1,5 - 2 mm). — *Paspalum paniculatum* Linn. : e, fragment de la base d'une plante ; f, inflorescence (racèmes les plus longs ayant de 5 - 10 cm) ; g, fleur supérieure fertile, face ventrale ; h, épillet, face ventrale (long de 1,2 - 1,5 mm).


a
b
c
d
e
f
g

3. **P. vaginatum** Swartz. (fig. 151).

Nom malgache : Fandroalakana.

Noms communs : Herbe la mare, Salt water couch, chiendent des marais (la Réunion, Ile Maurice).

Herbe pérenne, gazonnante, à rhizome et stolons rampants ; chaumes dressés, glabres, faibles, en général peu élevés, de quelques centimètres à 30-40 cm de haut ; jeunes pousses à entre-nœuds courts, feuilles distiques, souvent densément rapprochées. Feuilles à gaines assez lâches, glabres ou un peu pileuses au sommet, limbes linéaires, de taille très variable, 1-10 cm de long, sur 1,5-5 mm de large (rarement plus), à marges enroulées, sommet un peu obtus, glabres ou lâchement pileux sur la face supérieure ; ligule courte membrane tronquée, glabre.

Inflorescences en général peu exsertes, formées de 2 racèmes (rarement 3), d'abord obliquement dressés puis étalés subhorizontalement ou réfléchis ; racèmes de 1,5-6 cm de long, subsessiles, à axe rubané, de 1,3-2 mm de large. Epillets ovés, lancéolés, aigus, de 3-4 mm de long, glabres, aplatis, un peu convexes sur le dos, solitaires, subsessiles, bisériés sur une face de l'axe ; glume inférieure absente ; glume supérieure de la taille et de la forme de l'épillet, 4-5-nervée, les 2 paires de nervures latérales submarginales ; lemma de la fleur inférieure semblable à la glume supérieure, plane sur le dos, 5-nervée ; fleur supérieure ♀, un peu plus courte que l'épillet, glabre, à sommet un peu obtus, à glumelles chartacées, jaune pâle.

Espèce répandue dans les régions tropicales et tempérées chaudes. A Madagascar, on la trouve sporadiquement sur les côtes Est, Ouest et Sud-Ouest.

C'est une plante hygrophille, surtout des régions côtières : sables dunaires et coquillers en bordure de mer, bords de mangrove sur des sols parfois très salés, ou bords de marais et berges de rivières. Elle peut former des tapis ras, assez étendus (environs de Tuléar) et constitue alors un pâturage utilisé par les moutons. En station très salée, les entre-nœuds sont courts et les feuilles petites, enroulées, adaptation morphologique qui s'observe de façon parallèle chez *Sporobolus virginicus*. Elle peut servir à faire des pelouses à basse altitude sur des sols un peu saumâtre.

$2n = 20$ (Tateoka).

4. **P. Commersonii** Lamk. (fig. 152).

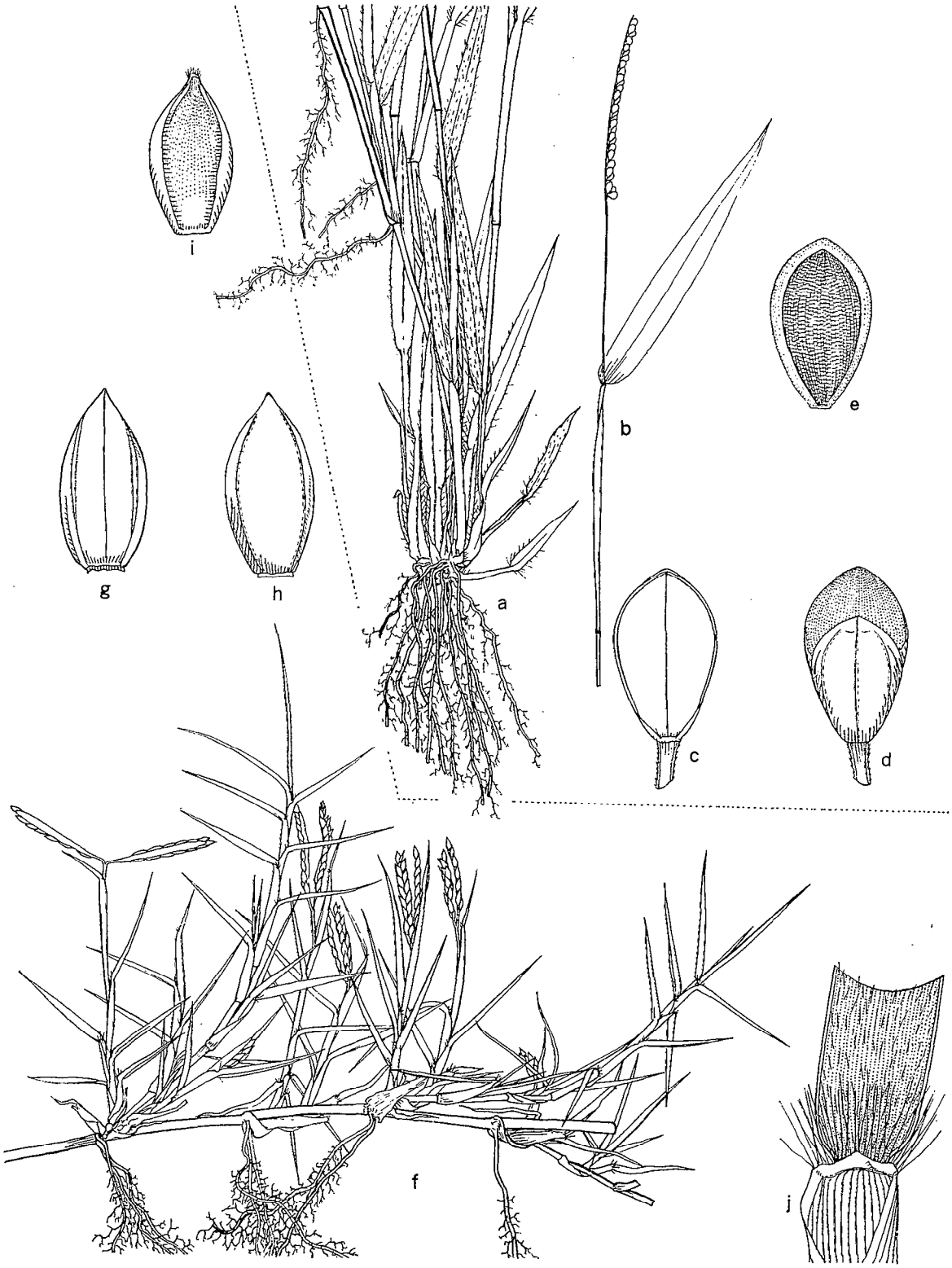
Noms malgaches : Menavavy, Tsipipina, Ahivivy.

Nom commun : Herbe à épée (Ile Maurice).

Herbe pérenne, cespiteuse ; chaumes dressés, parfois genouillés à la base, grêles à moyennement robustes, de 20-60 cm de haut (parfois plus), glabres, à nœuds brunâtres et glabres. Feuilles brunissant en séchant, limbes linéaires, plans, à marges enroulées, de 4-30 cm de long sur 4-10 mm de large, glabres ou lâchement pileux ; ligule représentée par une courte membrane, glabre, tronquée.

Inflorescences peu exsertes, formées de 1-4 racèmes insérés isolément sur un axe court ; racèmes droits ou un peu courbés, sessiles ou subsessiles, de 2,5-8 cm de long, à axe plat et rubané, de 1,5-2,2 mm de large. Epillets plan-convexes, presque hémisphériques, de 2-2,8 mm de long, arrondis et obtus au som-

FIG. 150. — *Paspalum dilatatum* Poir. : a, fragment de la base d'une plante ; b, inflorescence (racèmes longs de 3 - 10 cm) ; c, fleur supérieure fertile, face ventrale ; d, épillet, face ventrale (long de 3 - 4 mm). — *Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf : e, sommet d'une chaume et inflorescence (longueur de la panicule : 10 - 20 cm) ; f, épillet, face ventrale (longueur 3 - 3,5 mm) ; g, fleur supérieure fertile (face ventrale).


i
a
b
e
g
h
c
d
f
j

met, glabres, vert jaunâtre à brun sombre, solitaires, subsessiles, bisériés sur une face de l'axe ; glume inférieure absente ; glume supérieure de la taille de l'épillet, très concave, 5-nervée, les 2 nervures latérales submarginales ; fleur inférieure à lemma assez semblable à la glume supérieure, mais plane, 5-nervée ; fleur supérieure, aussi longue que l'épillet, marron ou brun sombre à maturité, à glumelles crustacées, lisses et brillantes.

Herbe commune en Asie et en Afrique, fréquente à Madagascar, sauf dans le domaine subdésertique du Sud. Elle monte en altitude jusqu'à 2 000 m. C'est une plante rudérale, des bords de chemins, une adventice des cultures, parfois abondante sur certaines jachères. On la trouve aussi sur des diguettes de rizières et des bas-fonds un peu humides, mais elle ne supporte pas longtemps un excès d'humidité. Elle s'accommode de diverses stations et de divers sols, même pauvres et érodés, et peut ainsi, occasionnellement, être observée dans les savanes à *Aristida* et *Loudetia* des plateaux. C'est une plante voisine de *Paspalum scrobiculatum* Linn. qui est une annuelle, cultivée aux Indes comme céréale de complément. Une forme à 1 seul racème est assez fréquente sur les plateaux.

$2n = 40$ (Moffet et Hurcombe, Singh), 20 (Tateoka).

5. **P. polystachyum** R. Br. (fig. 153).

Nom commun : Herbe à épée (Ile Maurice).

Herbe pérenne, en grosses touffes de 50 cm à 1,50 m de haut ; chaumes robustes, glabres, à nœuds brun noirâtre, glabres. Feuilles le plus souvent glabres, à limbes linéaires, de 10-50 cm de long sur 5-12 mm de large, plans, aigus au sommet ; ligule réduite à une courte membrane glabre, tronquée.

Inflorescences formées de 4-10 racèmes, insérés isolément sur un axe court et aplati ; racèmes robustes, de 5-14 cm de long, sessiles ou subsessiles, rigides ou plus ou moins flexueux, obliquement dressés ou plus ou moins étalés, à axe aplati, rubané, de 2-3,5 mm de large. Epillets plan-convexes, glabres, de 2-2,5 mm de long, très semblables à ceux de *P. Commersonii*, et de mêmes caractéristiques.

Espèce affine de la précédente et qui s'en distingue parfois assez mal. Certains échantillons à 4 racèmes peuvent être compris comme des spécimens robustes de *P. Commersonii* ou des spécimens dépauperés de *P. polystachyum*. En fait, toutes ces plantes sont étroitement liées et forment un complexe dont il serait sans doute utile de reprendre l'étude en la basant sur l'expérimentation, la caryologie, l'écologie.

P. polystachyum est répandu en Afrique, en Australie. A Madagascar, elle est moins fréquente que *P. Commersonii*. On la trouve surtout dans les zones plus chaudes de l'Est et de l'Ouest, en général sur des bas-fonds, ou des alluvions fraîches. Elle existe aussi sur les plateaux mais elle y est moins fréquente. Perrier de la Bathie la cite comme étant un bon fourrage.

6. **P. paniculatum** Linn. (fig. 149).

Noms malgaches : Mahabanky, Ahitsoavaly.

Nom commun : Herbe duvet (Ile Maurice, La Réunion).

Herbe pérenne, en grosses touffes ; chaumes dressés, parfois genouillés à la base, glabres, de 40 cm à 1,20 m de haut (parfois plus) ; nœuds hirsutes. Feuilles à gaines le plus souvent densément pileuses,

---

FIG. 151. — *Paspalum nutans* Lamk. : a, fragment de la base d'une plante ; b, inflorescence (racème long de 2 - 5 cm) ; c, épillet, face ventrale (long de 2 mm) ; d, épillet face dorsale ; e, fleur supérieure fertile, face ventrale. — *Paspalum vaginatum* Swartz : f, plante fleurie (haute de quelques centimètres à 40 cm) ; g, épillet, face ventrale (long de 3 - 4 mm) ; h, épillet, face dorsale ; i, fleur supérieure fertile, face ventrale ; j, base d'un limbe et ligule.


a
b
c
d
e
f
g
h
i

limbes linéaires, plans, à sommet aigu, de taille très variable : 10-40 cm de long sur 8-25 mm de large, glabres à lâchement pileux sur les 2 faces ; ligule réduite à une courte membrane brune, tronquée.

Inflorescences ovées, de 5-20 cm de long, jaunâtres, brun clair à brun foncé, formées de nombreux racèmes (7 à 60), insérés isolément ou plus ou moins rapprochés sur un axe allongé ; racèmes grêles, dressés, puis obliquement étalés, les plus longs atteignant 5-10 cm, à axe de 0,4-0,5 mm de large, portant souvent des poils sétacés à leur base. Epillets petits, plan-convexes, de 1,2-1,5 mm de long, souvent bruns, géminés, l'un sessile, l'autre pédicellé, pédicelle court et grêle ; glume inférieure absente ; glume supérieure aussi longue que l'épillet, un peu pubescente, 3-nervée ; fleur inférieure à lemma semblable à la glume supérieure, légèrement plus courte, 3-nervée ; fleur supérieure ♀, de la taille de l'épillet, à glumelles chartacées, glabres, lisses, jaunâtres.

Espèce américaine, introduite en Afrique, en Australie, aux Mascareignes, très commune à Madagascar dans la zone de la forêt humide de l'Est et sur les plateaux. C'est une plante qui affectionne les stations un peu ombragées : lisières forestières, végétation secondaire (savoka) à *Ravenala* et bambous, mais qui végète aussi en stations découvertes (bords de chemins) et est assez souvent une adventice dans les cultures sur défrichements de forêt (tavy). Les sols sont ferrallitiques sur gneiss ou basaltes ou des alluvions limoneuses de rivières. Les graines, comme celles de *P. conjugatum* et aussi *P. dilatatum* adhérent par temps de pluie sur les animaux et les hommes et sont ainsi transportées. Cette espèce est un mauvais fourrage qui ne semble pas être bien accepté par les animaux.

$2n = 20$ (Burton, Tateoka).

7. **P. nutans** Lamk. (fig. 151).

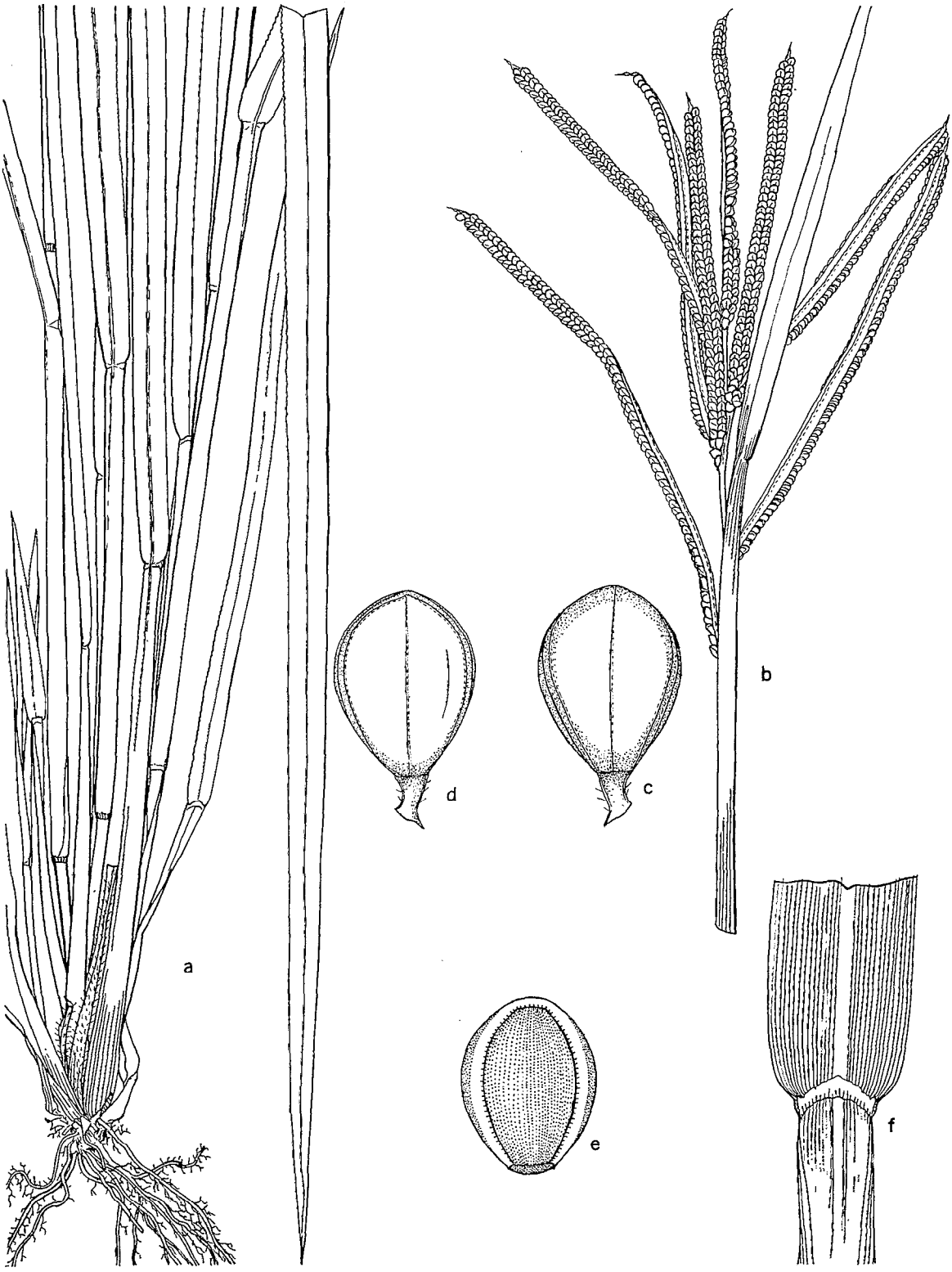
Herbe pérenne, cespiteuse ; chaumes genouillés ascendants, radicants aux nœuds inférieurs, glabres, atteignant le plus souvent 30-50 cm de haut. Feuilles à gaines comprimées, finement pileuses le long des marges, limbes linéaires ou linéaires lancéolés, de 2,5-10 cm de long sur 5-10 mm de large, parfois plus grands, plans, glabres ou lâchement pileux ; ligule représentée par une courte membrane tronquée.

Inflorescences finalement exsertes, sur des pédoncules grêles, glabres ou un peu pileux, formées de 1-2 racèmes (rarement 3-4) grêles, le plus souvent arqués, de 2-5 cm de long, à axe étroit, de 0,3-0,5 mm de large. Epillets plan-convexes, obovés, de 2 mm de long, obtus ou arrondis au sommet, glabres, géminés, brièvement pédicellés ; glume inférieure absente ; glume supérieure plus courte que l'épillet et atteignant les 3/4 ou les 4/5 de sa longueur, 5-nervée ; fleur inférieure à lemma aussi longue que l'épillet ou légèrement plus courte, plane sur le dos, 5-nervée ; fleur supérieure de la taille et de la forme de l'épillet, à glumelles chartacées à crustacées jaune pâle.

Espèce originaire d'Amérique tropicale, fréquente aux îles Rodriguez, Seychelles et Mascareignes. Assez peu répandue à Madagascar. C'est une plante de climat constamment chaud et humide, que l'on trouve surtout à basse altitude sur la côte Est : (Tamatave, Ivoloïna) mais qui monte en altitude jusqu'à 800-900 m (Périnet).

Elle a un comportement rudéral : bords de chemins, abords d'habitations et est assez fréquente dans certaines cultures : caféières, cultures vivrières sur alluvions. Son introduction est relativement récente, et à notre avis, elle est susceptible de s'étendre davantage.

FIG. 152. — *Paspalidium geminatum* (Forssk.) Stapf : a, fragment de la base d'une plante ; b, inflorescence (longue de 6 - 30 cm) ; c, épillet, face ventrale (long de 2 - 2,5 mm) ; d, épillet, face dorsale ; e, fleur supérieure fertile, face ventrale. — *Paspalum Commersonii* Lamk. : f, fragment de la base d'une plante ; g, inflorescence (racèmes longs de 2,5 - 8 cm) ; h, épillet, face ventrale (long de 2 - 2,8 mm) ; i, fleur supérieure fertile, vue de trois quarts.


a
b
c
d
e
f

Espèces introduites et cultivées en stations.

P. virgatum Linn.

Plante d'origine américaine, pérenne, cespiteuse, robuste, ayant 1-2 m de haut. Limbe foliaire plan, de 1-2,5 cm de large. Inflorescences à 10-16 racèmes insérés sur un axe plus ou moins allongé. Epillets de 2,5 mm de long, ovés obtus au sommet, pubescents le long des bords, géminés.

C'est une plante fourragère de bonne valeur, utile également dans la lutte contre l'érosion pour tenir les bords de banquettes dans les systèmes antiérosifs. Elle convient surtout aux régions humides de l'Est et sur les plateaux.

P. Urvillei Steud.

Nom anglo-saxon : Vasey grass.

Plante d'origine américaine, pérenne, cespiteuse, ayant de 70 cm à 2,50 m de haut. Inflorescences à racèmes nombreux (6-25), de 6-14 cm de long. Epillets de 2-3 mm de long, géminés ; à glume supérieure et lemma de la fleur inférieure frangée de longs poils.

Par son épillet, cette espèce rappelle *P. dilatatum* et *P. conjugatum*, mais elle se distingue aisément par le nombre de ses racèmes. Elle peut donner lieu à une utilisation analogue à celle de *P. dilatatum*.

P. notatum Fluegge

Nom anglo-saxon : Bahia grass.

Plante d'origine américaine, pérenne, à rhizomes rampants, ligneux ; chaumes de 40-60 cm de haut. Inflorescences composées de 2 racèmes (parfois 3). Epillets ovés, obtus au sommet, glabres, de 3-3,5 mm de long.

Plante fourragère intéressante pour constituer des pelouses, mais qui peut devenir une mauvaise herbe gênante des cultures.

BRACHIARIA Griseb.

Grand genre comptant des espèces dans toutes les régions chaudes du globe mais surtout en Afrique. A Madagascar, 16 espèces peuvent être considérées comme communes ou assez communes.

Ce genre est caractérisé par des inflorescences paniculées, formées de racèmes dorsiventraux plus ou moins nombreux échelonnés le long d'un axe. Les épillets sont mutiques, ressemblant à des épillets de *Panicum*, solitaires et brièvement pédicellés, géminés ou fasciculés et inégalement pédicellés, bisériés sur une face de l'axe du racème, la glume inférieure de l'épillet étant tournée contre cet axe.

Chez certaines espèces où l'axe des racèmes est grêle et les épillets à pédicelles relativement longs, l'inflorescence prend l'aspect d'une panicule de *Panicum* ; mais les racèmes restent toujours dorsiventraux, les épillets ou groupes d'épillets étant bisériés sur une face de l'axe.

FIG. 153. — *Paspalum polystachyum* R. Br. : a, fragment de la base d'une plante ; b, inflorescence (racèmes longs de 5 - 14 cm) ; c, épillet, face dorsale (long de 2 - 2,5 mm) ; d, épillet, face ventrale ; e, fleur supérieure fertile, face ventrale ; f, base d'un limbe et ligule.

CLÉ DES ESPÈCES

1. Epillets munis près du sommet d'une frange transversale de longs poils.
   2. Epillets de 2-3 mm de long ; glume inférieure dépassant la moitié de la longueur de l'épillet ; nervation de la glume supérieure et de la lemma inférieure non saillante.

      1. *B. Perrieri*

   2. Epillets de 3-3,5 mm de long ; glume inférieure petite, nettement plus courte que la moitié de la longueur de l'épillet ; nervation de la glume supérieure et de la lemma de la fleur inférieure saillante.

      2. *B. subrostrata*

1. Epillets glabres ou pileux mais sans longs poils formant frange transversale.
   3. Epillets de 1,7-2 mm de long. Inflorescences contractées en têtes globuleuses ou oblongues, atteignant 1 cm de long.

      3. *B. Hubbardii*

   3. Epillets de 2 mm ou plus de long. Inflorescences paniculées, plus ou moins lâches, non capitées.
      4. Plantes robustes, dépassant 1 m de haut, et atteignant 2,50 m ou plus ; chaumes en général épais (5 mm de diamètre) à nœuds hirsutes.

         4. *B. mutica*

      4. Plantes beaucoup plus grêles et moins élevées (dépassant rarement 1 m) ; nœuds glabres ou pileux.
         5. Petites plantes à stolons ramifiés appliqués sur le sol ; chaumes ne dépassant pas 12 cm de haut. Feuilles petites, lancéolées ou linéaires lancéolées, ne dépassant pas 20 mm de long.
            6. Inflorescences lâches et pauvres, réduites parfois à l'axe principal portant quelques paires d'épillets distantes, finalement réfléchies ; pédicelles les plus longs dépassant 1 mm.

               5. *B. epacridifolia*

            6. Inflorescences formées de racèmes denses ; épillets ou paires d'épillets rapprochés et contigus ; pédicelles des épillets courts ne dépassant pas 1 mm de long.
               7. 1-2 racèmes courts, de 1-1,5 cm de long.

                  6. *B. pseudodichotoma*

               7. 2-5 racèmes ou plus, plus longs.
                  8. Epillets solitaires, sur 2 rangs ; chaumes pileux sous l'inflorescence sur une certaine longueur.

                     7. *B. distachya*

                  8. Epillets géminés, au moins à la base des racèmes ; chaumes glabres sous l'inflorescence.
                     9. Epillets de 2-2,2 mm de long ; glume inférieure 1/5 à 1/4 de la longueur de l'épillet, sans nervure.

                        8. *B. reptans*

9. Epillets de 2,2-2,7 mm de long ; glume inférieure 1/2 de la longueur de l'épillet, 3-nervée.

9. *B. nana*

5. Plantes plus robustes, plus élevées, cespiteuses ou à chaumes parfois un peu couchés à la base et radicants aux nœuds. Feuilles plus grandes.

10. Glume inférieure grande, atteignant les 2/3 ou les 3/4 de la longueur de l'épillet.

10. *B. antsirabensis*

10. Glume inférieure ne dépassant pas 1/2 de la longueur de l'épillet.

11. Epillets solitaires, sur 2 rangs sur une face de l'axe des racèmes (1).

12. Annuelle. Epillets ne dépassant pas 2,5 mm de long, pileux.

11. *B. eruciformis*

12. Pérennes. Epillets de 2,5-4 mm de long, glabres.

13. Epillets de 2,5-3 mm de long. Chaumes pileux sous l'inflorescence, sur une certaine longueur.

7. *B. distachya*

13. Epillets de 3,2-4 mm de long. Chaumes glabres sous l'inflorescence (2).

14. Plante stolonifère ; glume inférieure entourant la base de l'épillet. Plante de station sèche.

12. *B. miliiformis*

14. Plante rhizomateuse ; glume inférieure à base non embrassante. Plante de station humide.

13. *B. arrecta*

11. Epillets géminés au moins à la base des racèmes (pouvant être solitaires vers le sommet).

15. Epillets ne dépassant pas 2,2 mm de long ; glume inférieure courte 1/5 à 1/4 de la longueur de l'épillet, sans nervure.

8. *B. reptans*

15. Epillets plus grands, à glume inférieure plus développée.

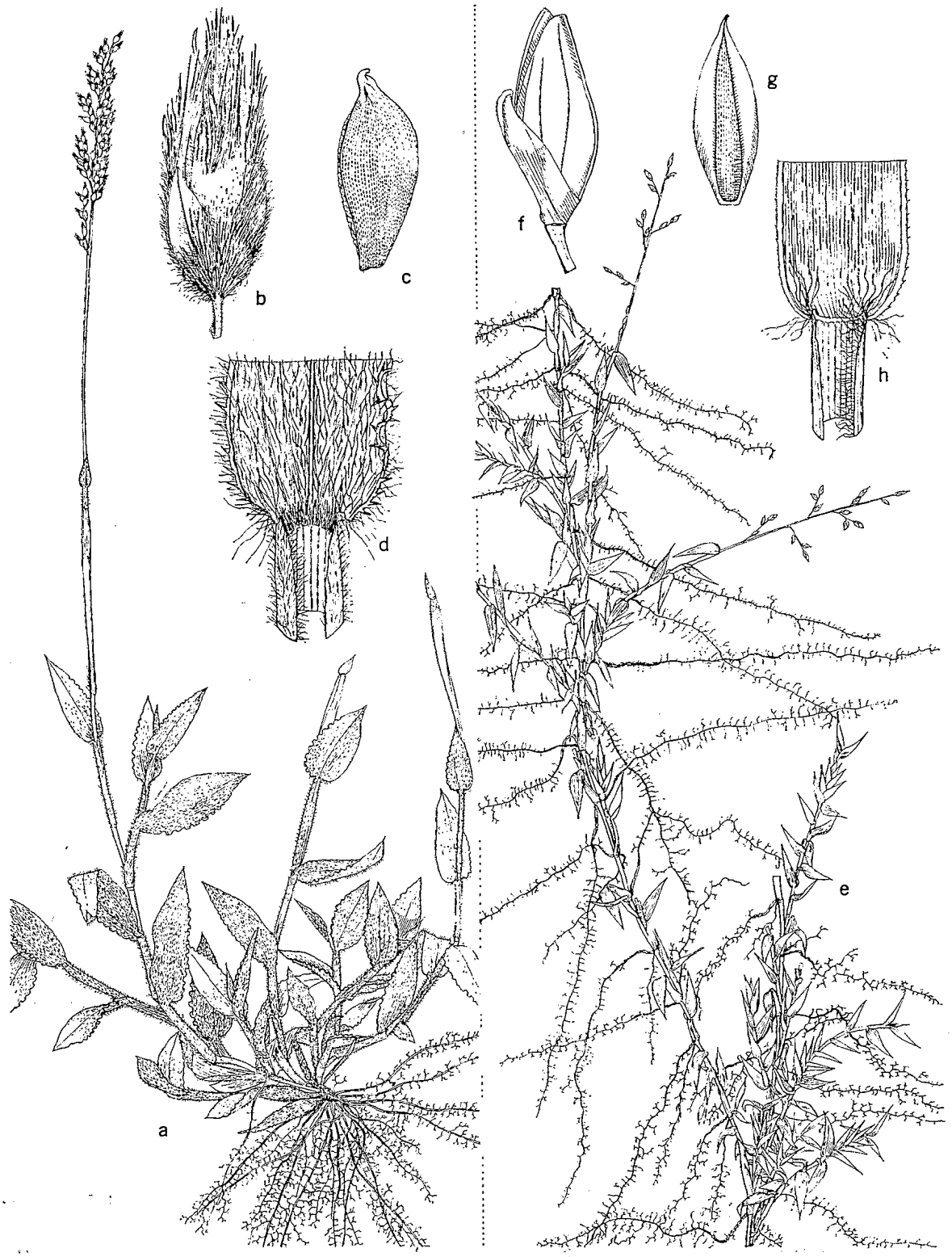
16. Inflorescences formées de 2-4 racèmes denses. Epillets ou paires d'épillets, à pédicelles courts, rapprochés sur l'axe de l'inflorescence ; axe des racèmes aplatis.

9. *B. nana*

---

(1) Sur certains échantillons de *B. eruciformis*, les racèmes inférieurs peuvent porter de courtes racémules secondaires, ce qui peut donner l'impression que les épillets sont groupés.

(2) Chez *B. arrecta*, l'aisselle des racèmes est souvent pileuse, le chaume lui-même ne l'étant pas ou alors très peu.


a
b
c
d
e
f
g
h

16. Inflorescences formées de 3-8 racèmes lâches et grêles. Epillets ou paires d'épillets plus ou moins distants sur l'axe de l'inflorescence, les plus longs pédicelles dépassant 1,5 mm ; axe des racèmes filiforme.

17. Fleur supérieure à glumelles lisses. Epillets de 2-2,5 mm de long.

14. *B. bemarivensis*

17. Fleur supérieure à glumelles ridées transversalement. Epillets de 2,5-3 mm de long.

18. Epillets oblongs obtus, ne dépassant pas 0,8-1 mm de large, glabres.

15. *B. Humbertiana*

18. Epillets ovés, aigus au sommet, de 1,3-1,5 mm de large, le plus souvent pubescents.

16. *B. deflexa*

1. **B. Perrieri** A. Camus (fig. 154).

Herbe annuelle, grêle ; chaumes couchés à la base puis genouillés et ascendants, pileux sous les nœuds et sous l'inflorescence, plus rarement glabres, ramifiés aux nœuds inférieurs, ayant de 10-45 cm de haut ; nœuds pileux. Feuilles à gaines densément pileuses, limbes lancéolés ou ovés lancéolés, de 1-3 cm de long, 0,3-1 cm de large, plans à marges épaissies, cartilagineuses, ondulées, densément pileux sur les 2 faces ; ligule représentée par une ligne de poils denses.

Inflorescences de 2,5-7 cm de long, longuement exsertes, paniculées, formées de 5-12 racèmes sessiles ou subsessiles, courts, les plus longs ayant 1,8 cm de long, échelonnés le long de l'axe, dressés et appliqués contre lui ; axes pileux. Epillets ovés, petits, 2-3 mm de long, à pilosité argentée ou rosée, solitaires, brièvement pédicellés (0,3-1 mm) ; glume inférieure ovée aiguë, pileuse, 3-nervée, atteignant les 2/3 de l'épillet ; glume supérieure aussi longue que l'épillet, 5-nervée, brièvement pileuse dans les 2/3 ou 3/4 inférieurs, munie au 1/4 ou au 1/2 supérieur d'une ligne transversale dense de longs poils raides et brillants dépassant le sommet de l'épillet ; fleur inférieure vide, à lemma semblable à la glume supérieure, brièvement aristée au sommet ; fleur supérieure ♂, de 2 mm de long, ovée, apiculée au sommet, à glumelles crustacées, jaune pâle, finement striées longitudinalement.

Espèce endémique, des plateaux, que l'on trouve surtout sur des sols rocailleux ou des rochers temporairement humides en saison des pluies. Accessoirement, elle fait partie des savanes herbeuses à *Aristida* et *Loudetia* sur des sols ferrallitiques en pente, érodés (région d'Ambalavao, Horombe).

La plante jeune forme une rosette étalée sur le sol, les gaines et les limbes foliaires sont parfois teintés de rose. C'est une espèce gracieuse, facile à reconnaître à son inflorescence étroite, contractée, argentée ou rosée.

FIG. 154. — *Brachiaria Perrieri* A. Camus : a, pied fleuri (haut de 10 - 45 cm) ; b, épillet, vue latérale (long de 2 - 3 mm) ; c, fleur supérieure fertile, vue latérale ; d, base d'un limbe et ligule. — *Brachiaria epacridifolia* A. Camus : e, plante fleurie (hauteur des chaumes florifères : 4 - 10 cm) ; f, épillet, vue latérale (long de 2 mm) ; g, fleur supérieure fertile, face ventrale ; h, base d'un limbe et ligule.


a
b
c
d
e
f
g
h

2. **B. subrostrata** A. Camus (fig. 155).

Herbe annuelle, à stolons rampants, enracinés et ramifiés aux nœuds ; chaumes florifères genouillés ascendants, de 7-20 cm de haut, glabres ou plus ou moins pileux sous l'inflorescence ; nœuds pileux. Feuilles à gaines pileuses, limbes linéaires ou linéaires lancéolés, de 1,5-7 cm de long sur 3-7 mm de large, plans, à base arrondie, pileux sur les 2 faces ; ligule représentée par une ligne de poils assez longs.

Inflorescences à axe pileux, paniculées, nettement exsertes, denses, oblongues, de 1,5-3,5 cm de long, formées de 2-5 racèmes solitaires, courts et denses, dressés, ceux de la base, plus longs, atteignant 2 cm. Epillets ovés, de 3-3,5 mm de long, aplatis dorsiventralement, pileux, solitaires ou plus rarement par 2 à la base des racèmes inférieurs, brièvement pédicellés, ou pédicelles des épillets de la base des racèmes atteignant 1,5-3 mm ; glume inférieure petite, 1/5 de la longueur de l'épillet, sans nervure ; glume supérieure de la taille et de la forme de l'épillet, à 5 nervures saillantes, brièvement pileuse dans sa partie basale et munie au 1/3 supérieur d'un ligne transversale de longs poils raides, brillants, dépassant le sommet de l'épillet ; fleur inférieure vide, lemma très semblable à la glume supérieure ; fleur supérieure ♀, ovée, de 2,5 mm de long, à glumelles jaunes, crustacées, ponctuées longitudinalement.

Espèce endémique, des plateaux. C'est une plante d'endroits temporairement humides : rochers suintants, bords de fossés, talus. Assez peu fréquente, elle a surtout été récoltée aux environs de Tananarive et dans le Vakinankaratra (Antsirabe, Betafo).

3. **B. Hubbardii** A. Camus (fig. 156).

Petite herbe annuelle, à stolons grêles, rampants, enracinés et ramifiés aux nœuds ; chaumes glabres, dressés, parfois genouillés à la base, ayant de 5-30 cm de haut ; nœuds pileux. Feuilles à gaines pileuses, limbes linéaires, de taille très variable : 1-4,5 cm de long sur 0,7-3,5 mm de large, glabres ou plus souvent pileux sur les 2 faces ou seulement sur la face inférieure ; ligule absente.

Inflorescences contractées en têtes oblongues ou globuleuses, parfois formées seulement de quelques épillets, ayant de 0,4-1 cm de long sur 3-5 mm de large ; ramifications courtes, paucispiculées, dressées contre l'axe. Epillets ovés, un peu aplatis ventralement, convexes dorsalement, de 1,7-2 mm de long, glabres, vert clair ou plus ou moins teintés de violacé, solitaires ou géminés, à pédicelles courts ne dépassant pas 0,5 mm ; glume inférieure ovée aiguë, 3-nervée, atteignant les 2/3 de la longueur de l'épillet ; glume supérieure aussi longue que l'épillet, 5-7-nervée ; fleur inférieure ♂, à lemma semblable à la glume supérieure ; fleur supérieure ♀, convexe sur le dos, un peu plus courte que l'épillet ou de même taille que lui, à glumelles jaunes, lisses et brillantes, finement crustacées.

Petite espèce existant aux îles Comores, à la Réunion, rencontrée sporadiquement dans l'Est et l'Ouest de Madagascar. C'est une plante de climat chaud et humide qui ne monte pas en altitude. On la trouve aux bords des routes, dans les fossés, sur les alluvions des rivières. Elle forme parfois une ceinture autour des marigots d'eau saumâtre dans l'Ouest, souvent associée dans ces stations à *Phyla nodiflora* (Verbénacée). Son port est alors plus rabougri, les entre-nœuds sont plus courts et la pilosité plus dense. Elle accepte aussi des stations ombragées, ou elle est alors plus élevée (30 cm) ; les chaumes sont à entre-nœuds plus longs et les limbes foliaires sont plus développés. D'après Perrier de la Bathie, elle ne semble pas être appétée du bétail.

FIG. 155. — *Brachiaria reptans* (Linn.) Gardn. et Hubb. : a, pied fleuri (haut de 15 - 50 cm) ; b, épillet, face ventrale (long de 2 - 2,2 mm) ; c, fleur supérieure fertile, face ventrale ; d, base d'un limbe et ligule. — *Brachiaria subrostrata* A. Camus : e, pied fleuri (haut de 7 - 20 cm) ; f, épillet, face ventrale (long de 3 - 3,5 mm) ; g, fleur supérieure fertile, face ventrale ; h, base d'un limbe et ligule.


a
b
c
d
e
f
g
h
i
j

4. **B. mutica** (Forssk.) Stapf (fig. 150).

Noms communs : Herbe de Para, Mauritius grass, Para grass, Herbe siflette, Herbe de Guinée grande espèce (île Maurice).

Grande herbe pérenne, robuste, stolonifère ; chaumes glabres, couchés et plus ou moins rampants à la base, s'enracinant aux nœuds, puis genouillés ascendants, atteignant 1-2,50 m de haut (parfois plus) ; nœuds hirsutes ainsi que la base des gaines. Feuilles à limbes linéaires, de 10-30 cm de long sur 6-15 mm de large, plans, glabres ou pileux, à marges scabres ; ligule représentée par un court rebord membraneux, longuement cilié.

Inflorescences paniculées, lâches, de 10-20 cm de long, formées de nombreux racèmes insérés sur un axe commun ; racèmes glabres, grêles, (1 mm de large), solitaires ou plus ou moins rapprochés, brièvement pédonculés, de 3-12 cm de long, composés près de la base ; pédicelles courts, pileux. Epillets elliptiques ou ovés, aigus au sommet, glabres, souvent teintés de pourpre, de 3-3,5 mm de long, plus ou moins gonflés, géminés ou solitaires au sommet des racèmes, ou encore en petits fascicules ; glume inférieure petite, 1/4 à 1/3 de la longueur des épillets, triangulée, 1-5-nervée ; glume supérieure aussi longue que l'épillet, 5-7-nervée ; fleur inférieure ♂, à lemma semblable à la glume supérieure, 5-nervée ; fleur supérieure ♀, elliptique, obtuse, à glumelles très finement ridées transversalement, crustacées, jaune pâle.

Espèce d'origine africaine, de climat humide ou subhumide, qui croît en stations fraîches à humides : bords de rivières, dans l'Est, Elle a été peu récoltée à l'état sauvage à Madagascar. C'est un excellent fourrage qui donne d'excellents rendements si on la cultive sur alluvions.

$2n = 36$ (Hunter, Burton).

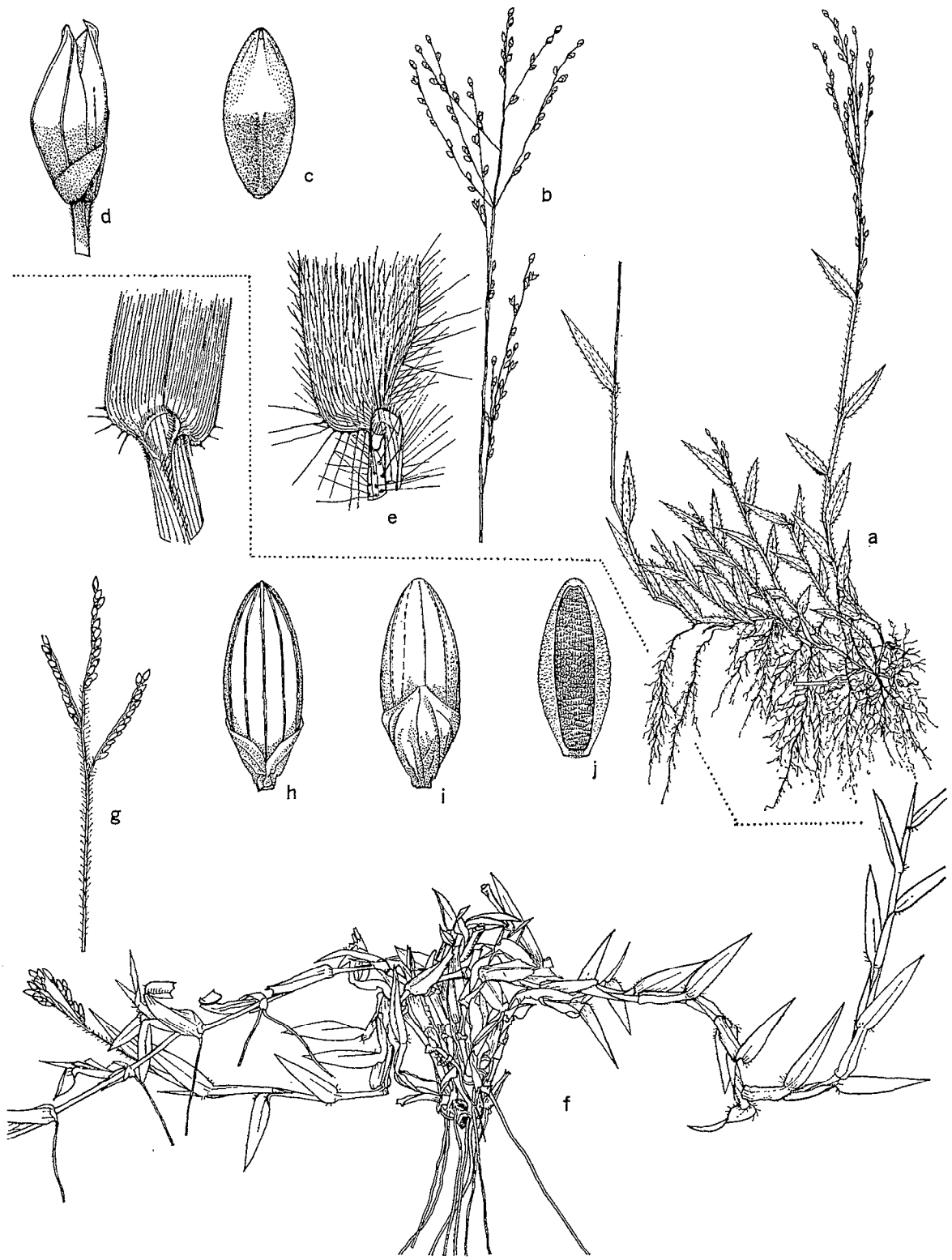
5. **B. epacridifolia** (Stapf) A. Camus (fig. 154).

Petite herbe pérenne, gazonnante, à stolons rampants, appliqués contre le sol, ramifiés et enracinés aux nœuds ; chaumes dressés, de 4-10 cm de haut (rarement plus). Feuilles souvent rapprochées et distiques sur les pousses, à gaines plus longues que les entre-nœuds, plus rarement distantes et à gaines plus courtes que les entre-nœuds ; gaines et nœuds pileux, hirsutes ; limbes lancéolés ou ovés lancéolés, aigus au sommet, en général pileux sur les 2 faces, de taille très variable : 0,5-1,5 cm de long sur 1-4,5 mm de large ; ligule représentée par un rebord membraneux très court.

Inflorescences paniculées, pauciflores et réduites, lâches, peu exsertes ou nettement pédonculées, de 1-5 cm de long, rarement plus ; ramifications peu nombreuses (2-6) courtes, celles de la base ayant 0,5-1 cm, paucispiculées (2-6 épillets), souvent réduites à 1-2 épillets inégalement pédicellés, (pédicelles de 0,5-3 mm de long), souvent réfléchies à maturité. Epillets ovés ou oblongs aigus, de 2 mm de long, glabres, turgides, vert sombre ; glume inférieure dépassant 1/2 de la longueur de l'épillet, 3-nervée ; glume supérieure aussi longue que l'épillet, 5-nervée ; fleur inférieure réduite à la lemma, assez semblable à la glume supérieure ou un peu plus petite, 5-nervée ; fleur supérieure ♀, aussi longue que l'épillet ou un peu plus courte, glumelles chartacées, blanchâtres puis jaunes, lisses.

Espèce endémique, très caractéristique, aisément reconnaissable à ses pousses à feuilles petites et distiques, et à sa panicule paucispiculée, à ramifications réfléchies à maturité. Elle est commune dans

FIG. 156. — *Brachiaria antsirabensis* A. Camus : a, base d'un chaume ; b, inflorescence (longue de 2 - 7 cm) ; c, fleur supérieure fertile, vue latérale ; d, épillet, vue latérale (long de 2,7 - 3 mm) ; e, fleur supérieure fertile, face ventrale. — *Brachiaria Hubbardii* A. Camus : f, plante fleurie (haute de 5 - 30 cm) ; g, épillet vu de trois quarts (long de 1,7 - 2 mm) ; h, glume supérieure, face dorsale ; i, fleur supérieure fertile, profil ; j, fleur supérieure fertile, vue de trois quarts.


a
b
c
d
e
f
g
h
i
j

la zone subhumide des plateaux, au dessus de 900-1 000 m. C'est à l'origine, une plante de sous-bois clair et de lisière forestière, fréquente aussi dans les formations dégradées à *Philippia*. Dans le massif de l'Ankaratra, elle occupe aussi des dépressions un peu marécageuses et est une constituante occasionnelle de la prairie altimontaine à *Pentaschistis Perrieri*. C'est aussi une adventice dans les cultures sèches sur pentes de ces régions (pomme de terre, maïs).

6. **B. pseudodichotoma** Bosser (fig. 131).

Petite herbe annuelle, rampante, à stolons grêles, glabres, enracinés et ramifiés aux nœuds ; chaumes florifères dressés, ramifiés, de 2-6 cm de haut. Feuilles à gaines un peu comprimées carénées, glabres ou pileuses le long des marges, limbes plans, lancéolés ou linéaires lancéolés, de 8-20 mm de long sur 2,5-3,5 mm de large, glabres ; ligule représentée par une ligne de poils assez longs.

Inflorescences peu exsertes, engainées par les dernières feuilles, formées de 1-2 racèmes courts, de 1-1,5 cm de long, à axe étroit, de 1 mm de large. Epillets lancéolés aigus, de 2-2,5 mm de large, glabres, solitaires, brièvement pédicellés, ou géminés à la base des racèmes ; glume inférieure, largement ovée obtuse, atteignant 1/3 de la longueur de l'épillet, 2-3-nervée ; glume supérieure aussi longue que l'épillet, 5-nervée ; fleur inférieure réduite à la lemma, semblable à la glume supérieure ; fleur supérieure ♀, un peu plus courte que l'épillet, elliptique obtuse, à glumelles finement crustacées, rugueuses transversalement.

Espèce endémique, de faible développement, à réseau lâche de stolons couchés sur le sol, assez fréquente dans le domaine subaride du Sud. C'est une plante de station sèche, ensoleillée ou un peu ombragée, sur sables ou sols rocailleux. On la trouve dans les faciès dégradés du fourré xérophile, sur d'anciennes jachères, aux bords des routes. Elle n'est pas grégaire et ne se trouve que sporadiquement. Elle se développe après les premières pluies.

Dans l'Ouest, elle est signalée dans la région de Marovoay sur des marnes gypseuses, qui sont très érodées et particulièrement sèches et craquelées en période hivernale.

7. **B. distachya** (Linn.) Stapf (fig. 157).

Herbe pérenne, à stolons couchés, enracinés et ramifiés aux nœuds ; chaumes dressés, de 5-25 cm de haut, pileux au sommet sous l'inflorescence ; nœuds pileux. Feuilles à limbes linéaires lancéolés, ou linéaires, de 1,5-5 cm de long sur 3-8 mm de large, plans, glabres ou plus ou moins pileux, un peu arrondis à la base ; ligule représentée par un rebord membraneux assez longuement cilié.

Inflorescences paniculées, de 2-5 cm de long, formées de 2-5 racèmes, échelonnés le long d'un axe pileux ; racèmes sessiles ou subsessiles, obliquement dressés, de 1-3 cm de long, à axe grêle, aplati. Epillets elliptiques, de 2,5-3 mm de long, comprimés dorsiventralement, glabres, solitaires, brièvement pédicellés ; glume inférieure assez ample et lâche, atteignant environ 1/2 de la longueur de l'épillet, 5-7-nervée ; glume supérieure, de la taille et de la forme de l'épillet, 7-nervée ; fleur inférieure vide, à lemma assez semblable à la glume supérieure, aplatie, sur le dos, 5-nervée ; fleur supérieure ♀, plus courte que l'épillet, à glumelles crustacées, ridées transversalement.

FIG. 157. — *Brachiaria bemarivensis* A. Camus : a, fragment de la base d'une plante ; b, inflorescence (longue de 4 - 15 cm) ; c, fleur supérieure fertile, face dorsale ; d, épillet, vue latérale (long de 2 - 2,5 mm) ; e, base d'un limbe et ligule. — *Brachiaria distachya* (Linn.) Stapf : f, base d'une plante ; g, inflorescence (longue de 2 - 5 cm) ; h, épillet, face dorsale (long de 2,5 - 3 mm) ; i, épillet, face ventrale ; j, fleur supérieure fertile, face ventrale.

Espèce des Indes et de la région malaise, commune aux Mascareignes, moins fréquente à Madagascar où on la trouve dans les zones sèches, subarides du Sud et dans l'Ouest subhumide (environs de Majunga). C'est une adventice des cultures sèches, sur sols sableux.

$2n = 72$ (Tateoka).

8. **B. reptans** (Linn.) Gardn. et Hubb. (fig. 155).

Noms communs : Herbe caille, Herbe à matelas (Ile Maurice).

Herbe annuelle, à tiges plus ou moins couchées à la base, radicantes et ramifiées aux nœuds ; chaumes florifères genouillés ascendants, grêles, glabres, de 15-50 cm de haut. Feuilles à gaines pileuses ou glabres, limbes linéaires lancéolés ou lancéolés, de taille très variable, 1-8 cm de long sur 3-20 mm, glabres ou plus ou moins pileux, marges portant des poils à base tuberculée ; ligule représentée par une ligne de poils longs et denses.

Inflorescences paniculées, ovées, de 2-8 cm de long, parfois plus, formées de 4-13 racèmes groupés sur un axe court, dressés ou plus ou moins étalés, denses, ayant jusqu'à 5 cm de long sur les grands spécimens ; axe des racèmes grêles, de 0,3-0,5 mm de large. Epillets ovés aigus, de 2-2,2 mm de long, glabres, souvent violacés à pourpres, géminés ou solitaires au sommet des racèmes, à pédicelles courts, le plus souvent munis de quelques longs poils sétacés ; glume inférieure, 1/5 à 1/4 de la longueur de l'épillet, obtuse ou plus ou moins cuspidée ou échancrée au sommet, sans nervure ; glume supérieure de la taille de l'épillet, un peu convexe sur le dos, 7-nervée ; fleur inférieure vide, à lemma assez semblable à la glume supérieure, mais fortement déprimée dans sa partie médiane, 5-nervée ; fleur supérieure ♀, ovée, un peu plus courte que l'épillet, munie à son sommet d'un très court mucron, à glumelles crustacées et fortement rugueuses transversalement, jaune pâle.

Espèce pantropicale, commune dans le domaine subhumide de l'Ouest. C'est une rudérale et une adventice des cultures sèches, que l'on retrouve occasionnellement dans les savanes herbeuses à *Heteropogon contortus*. Elle croît sur différents types de sol : alluvions limoneuses ou sableuses, sols ferrugineux tropicaux sur sable. Elle n'est pas grégaire et ne forme pas de peuplements importants.

9. **B. nana** Stapf (fig. 136).

Herbe annuelle, à stolons rampants, enracinés et ramifiés aux nœuds ; chaumes dressés, genouillés ascendants, de 5-20 cm de haut. Feuilles à gaines pubescentes ou glabres, limbes lancéolés ou linéaires lancéolés, à base arrondie et embrassante, de 1-5 cm de long sur 3-8 mm de large, plans ou pliés, glabres et munis de poils à base tuberculée dans la partie inférieure des marges, ou finement pubescents sur la face inférieure, marges épaisses, cartilagineuses, plus ou moins ondulées ; ligule représentée par une ligne de longs poils.

Inflorescences paniculées, peu exsertes, ou souvent engainées par la dernière feuille, formées de 2-4 racèmes insérés sur un axe court (0,5-2 cm) ; racèmes sessiles de 1-4 cm de long, dressés. Epillets ovés, aplatis dorsiventralement, glabres, de 2,2-2,7 mm de long, géminés (solitaires au sommet), inégalement pédicellés, l'un subsessile, l'autre à pédicelle de 0,7-1,2 mm ; glume inférieure 1/2 de la longueur de l'épillet ou un peu plus courte, embrassante à la base, obtuse ou subaiguë au sommet, 3-nervée ; glume supérieure aussi longue que l'épillet, 7-nervée ; fleur inférieure réduite à la lemma assez semblable à la glume supérieure, un peu déprimée au centre, 5-nervée ; fleur supérieure ♀, plus courte que l'épillet, ovée, obtuse au sommet, à glumelles crustacées, rugueuses transversalement, jaune pâle.

Petite espèce endémique, de l'Ouest. C'est une plante de station sèche et ensoleillée, croissant en lisière de la forêt semi-décidue, ou dans les clairières, devenue rudérale et adventice des cultures sèches, en particulier dans le Mangoky. Elle ne semble pas remonter plus au Nord que Morondava, du moins l'état

actuel des prospections le laisse supposer. Les sols sont des sols ferrugineux tropicaux sur sables ou des alluvions sableuses. La plante a normalement des stolons développés, mais parfois, quand elle végète en conditions difficiles elle peut être nanifiée, à entre-nœuds courts, à chaumes alors très feuillés et inflorescences partiellement incluses dans la dernière gaine, ce qui lui donne un port très différent.

10. **B. antsirabensis** A. Camus (fig. 156).

Herbe pérenne, cespiteuse, à rhizomes grêles et courts ; chaumes grêles, faibles, genouillés ascendants, couchés ou s'appuyant sur les plantes voisines, ayant de 40 cm à 1,20 m de long, glabres, un peu pubescents sous l'inflorescence. Feuilles à gaines glabres ou un peu pileuses au sommet, limbes linéaires aigus, de 3-7 cm de long sur 3-6 mm de large, plans ou à marges enroulées, glabres ou à pilosité éparse sur les 2 faces ; ligule membraneuse, tronquée, glabre ou ciliolée au sommet, de 0,5-0,8 mm de haut.

Inflorescences paniculées, longuement exsertes, linéaires ou ovées oblongues, de 2-7 cm de long, formées de 2-6 racèmes denses, dressés ou plus ou moins étalés, brièvement pédonculés, insérés sur un axe et lâchement disposés, de longueur variable, mais en général courts, ceux de la base pouvant atteindre 2,5 cm de long ; axes de l'inflorescence et des racèmes pubescents ou pileux. Epillets ovés aigus, un peu comprimés latéralement, de 2, 7-3 mm de long, vert olive, parfois teintés de violacé, à glumes et glumelles assez lâches, solitaires ou insérés par 2 à la base des racèmes, inégalement pédicellés, l'un subsessile, l'autre à pédicelle d'environ 1 mm ; glume inférieure atteignant 2/3 à 3/4 de la longueur de l'épillet, ample, largement ovée aiguë, paraissant glabre, 7-nervée ; glume supérieure un peu plus courte que l'épillet, ciliolée au sommet, très concave, 7-nervée ; fleur inférieure ♂, lemma assez semblable à la glume supérieure mais plus ample, ciliolée au sommet et sur les marges, 7-nervée ; fleur supérieure ♀, plus courte que l'épillet à glumelles chartacées à crustacées, lisses, jaune pâle à brunâtres.

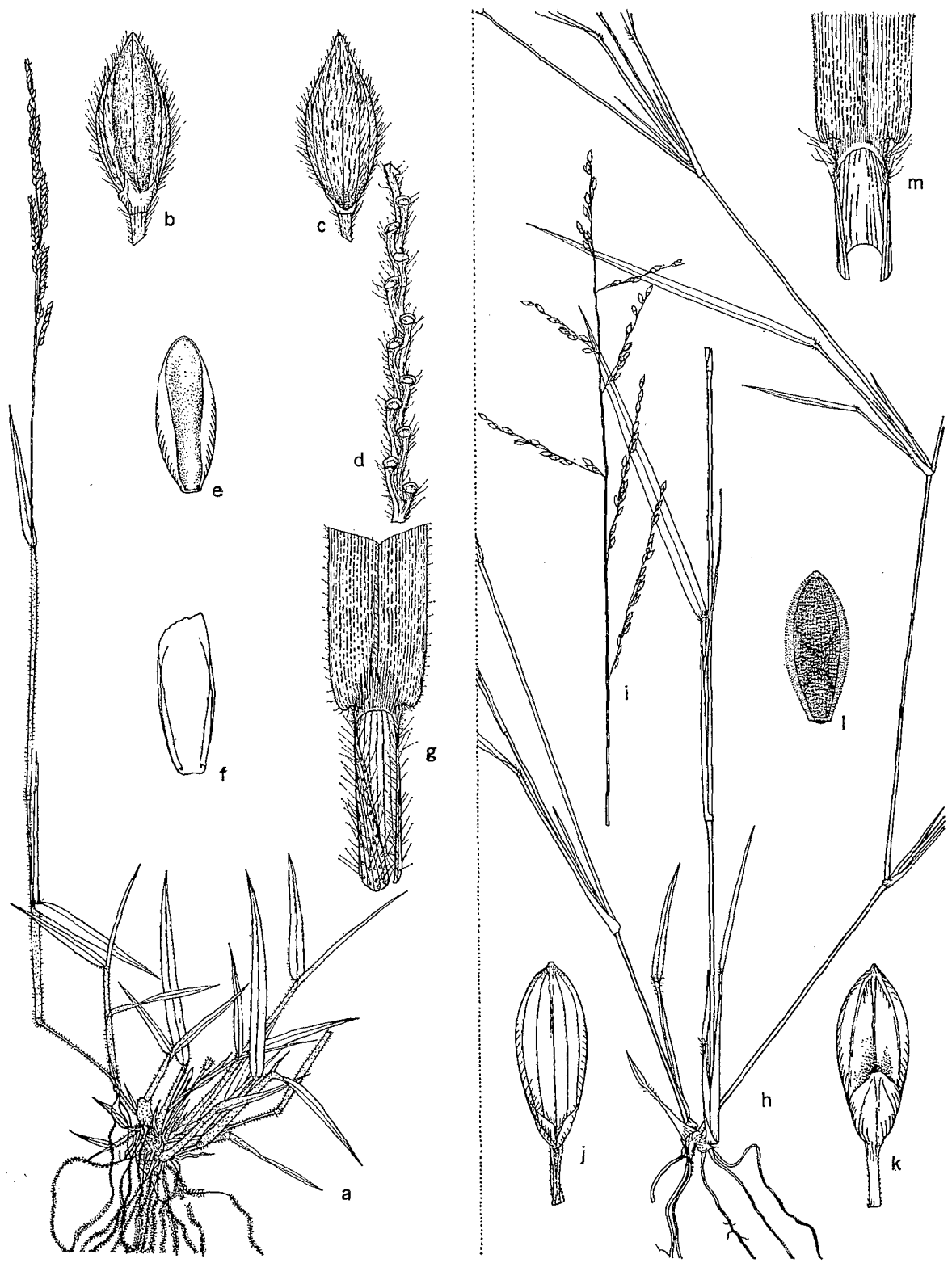
Espèce endémique des plateaux, fréquente au-dessus de 900 - 1 000 m d'altitude. C'est à l'origine une plante de lisières de la forêt ombrophile d'altitude, et des formations secondaires à *Philippia*. Elle se retrouve occasionnellement dans les savanes herbeuses à *Aristida rufescens* et *Loudetia madagascariensis*, sur sols ferrallitiques dérivés de gneiss, granites ou basaltes, bien drainés. Mais elle se plait aussi sur des sols hydromorphes à humus noir tourbeux, en bord de marais, et sur des bas de pente. C'est aussi assez souvent une adventice dans les cultures sèches. Elle n'a aucun intérêt en tant que fourrage.

11. **B. eruciformis** (J.E.Sm.) Griseb. (fig. 158).

Petite herbe annuelle, en touffes lâches, à chaumes genouillés ascendants, simples ou ramifiés aux nœuds inférieurs, glabres ou lâchement pileux, de 15-30 cm de haut (parfois plus) ; nœuds densément pileux. Feuilles à gaines pileuses ou glabres et seulement pubescentes au sommet ; limbes linéaires lancéolés, de 2-6 cm de long sur 2-5 mm de large, glabres ou pileux ; ligule représentée par une ligne de longs poils.

Inflorescences étroitement linéaires, de 3-10 cm de long, formées de 5-12 racèmes subsessiles, dressés et appliqués contre l'axe, ceux de la base atteignant 2,5 cm de long ; axes des racèmes pileux, grêles, de 0,2-0,3 mm de large. Epillets oblongs obtus, de 2-2,2 mm de long, pileux, solitaires et brièvement pédicellés ; glume inférieure 1/5 à 1/4 de la longueur de l'épillet, sans nervure ou obscurément binervée ; glume supérieure de la taille de l'épillet, un peu convexe sur le dos, 5-nervée ; fleur inférieure vide, à lemma assez semblable à la glume supérieure, 5-nervée ; fleur supérieure, plus courte, elliptique, arrondie obtuse au sommet, à glumelles finement chartacées, lisses, brillantes.

Espèce se trouvant dans la région méditerranéenne, en Asie, en Afrique de l'Est et du Sud, aux Mascareignes. Elle existe sporadiquement dans les domaines climatiques du Sud et de l'Ouest, à Madagascar. C'est une adventice des cultures sèches sur alluvions (région de Tuléar) mais qui a aussi été observée sur des marnes gypseuses très érodées, et très sèches, dans une savane très claire à *Heteropogon contortus* (région de Majunga). Cette plante n'a été que peu récoltée jusqu'à présent.


a
b
c
d
e
f
g
h
i
j
k
l
m

12. **B. miliiformis** (Presl.) A. Chase

Herbe annuelle lâchement cespiteuse ; chaumes grêles, glabres, genouillés, ascendants, ramifiés, couchés à la base et s'enracinant aux nœuds inférieurs, atteignant 50-60 cm de long ; nœuds glabres. Feuilles à gaines pileuses sur les marges, par ailleurs glabres, limbes linéaires atteignant 13 cm de long sur 8 mm de large, plans, un peu arrondis à la base, glabres ; ligule représentée par un rebord membraneux tronqué, cilié au sommet.

Inflorescences paniculées, atteignant 15 cm de long, à axe principal glabre, formées de 2-5 racèmes subsessiles, de 2-5 cm de long, finalement étalés à réfléchis, à axe grêle, étroit. Epillets oblongs, un peu aigus au sommet, de 3,5-3,7 mm de long, glabres, aplatis dorsiventralement, solitaires et brièvement pédonculés ; glume inférieure atteignant 1/2 de la longueur de l'épillet, plus large que longue, embrassant la base de l'épillet, 7-nervée ; glume supérieure de la longueur et de la forme de l'épillet, 7-nervée ; fleur inférieure vide, à lemma semblable à la glume supérieure, plus plate sur le dos, 5-nervée ; fleur supérieure ♀, un peu plus courte que l'épillet, à glumelles crustacées, jaunes, ridées transversalement.

Plante d'origine asiatique, peu fréquente à Madagascar. Elle n'a été trouvée que dans le Nord-Ouest, d'Ambanja au Cap d'Ambre, de 0 à 600 m d'altitude. Elle se comporte comme une rudérale et une adventice des cultures. Elle est sans doute d'introduction assez récente. Bor la signale comme donnant un bon fourrage aux Indes.

13. **B. arrecta** (Hack.) Stent. var. **madecassa** A. Camus (fig. 159).

Noms malgaches : Osiosiberavina, Pikombalala.

Herbe pérenne, stolonifère ; chaumes de grêles à moyennement robustes, glabres, simples ou ramifiés aux nœuds inférieurs, dressés, parfois genouillés à la base, de 40 cm à 1 m de haut ; nœuds glabres. Feuilles à gaines glabres ou lâchement pileuses, limbes linéaires, de 5-15 cm de long sur 2,5-8 mm de large, plans, glabres ; ligule réduite à une ligne de poils courts.

Inflorescences paniculées, de 7-20 cm de long, à axe généralement glabre, formées de 2-8 racèmes, sessiles ou brièvement pédonculés, obliquement dressés ou plus ou moins étalés, solitaires, distants les uns des autres, ceux de la base ayant 3-7 cm de long ; base des racèmes et pédicelles des épillets assez souvent munis de poils sétacés ; axe des racèmes aplatis, assez grêles, 1 mm de large environ. Epillets elliptiques, aigus au sommet, de 3,2-3,8 mm de long, glabres, comprimés dorsiventralement, solitaires, brièvement pédicellés ; glume inférieure 1/2 de la longueur de l'épillet ou plus courte, ovée lancéolée, obtuse, assez obscurement 5-7-nervée ; glume supérieure de la taille et de la forme de l'épillet, 7-9-nervée ; fleur inférieure vide ou ♂, à lemma semblable à la glume supérieure mais seulement 5-7-nervée ; fleur supérieure ♀, un peu plus courte que l'épillet, elliptique obtuse, à glumelles crustacées, jaunes, ridées transversalement.

Espèce africaine, dont la variété, endémique de Madagascar, est commune en climats humides ou subhumides de l'Est et des plateaux. C'est une plante hygrophile, occupant des bords de marais temporairement inondés, des alluvions basses restant fraîches toute l'année, des diguettes de rizières. C'est un bon fourrage et sur certaines zones alluvionnaires forme des peuplements denses qui, dans l'Ankaizina, donnent d'excellents pâturages de saison sèche.

FIG. 158. — *Brachiaria eruciformis* (J.E. Sm.) Griseb. : a, pied fleuri (haut de 15 - 30 cm) ; b, épillet, face ventrale (long de 2 - 2,2 mm) ; c, épillet, face dorsale ; d, portion de l'axe d'un racème montrant l'insertion des épillets ; e, fleur supérieure fertile, face ventrale ; f, paléa de la fleur supérieure ; g, base d'un limbe et ligule. — *Brachiaria Humbertiana* A. Camus : h, base d'une plante ; i, inflorescence (longue de 5 - 12 cm) ; j, épillet, face dorsale (long de 2,5 -3 mm) ; k, épillet, face ventrale ; l, fleur supérieure fertile, face ventrale ; m, base d'un limbe et ligule.


a
b
c
d
e
f
g
h
i

14. **B. bemarivensis** A. Camus (fig. 157).

Herbe annuelle, en touffes diffuses ; chaumes couchés sur le sol, à la base, ramifiés et radicants aux nœuds puis genouillés ascendants, grêles, glabres, ayant de 10-40 cm de haut ; nœuds pileux. Feuilles à gaines pileuses le long des marges, glabres par ailleurs ou plus ou moins munies de poils à base tuberculée, limbes lancéolés ou linéaires lancéolés, dissymétriques à la base, de 1-5 cm de long sur 0,4-1 cm de large, glabres ou pileux.

Inflorescences paniculées, ovées, de 4-15 cm de long, lâches, formées de 3-8 racèmes grêles, dressés puis obliquement étalés, les inférieurs pouvant atteindre 6 cm de long ; axe des racèmes glabres, sinueux, grêles, de 0,2-0,3 mm de large. Epillets ovés obtus, de 2-2,5 mm de long, plan-convexes, glabres, solitaires au sommet des racèmes, puis géminés et inégalement pédicellés, pédicelles les plus longs grêles, ayant 1,5-3 mm de long ; paires d'épillets souvent très espacés sur l'axe ; glume inférieure environ 1/2 de la longueur de l'épillet, 3-nervée ; glume supérieure un peu plus courte que l'épillet, 5-nervée ; fleur inférieure ♂, ou vide, de la taille de l'épillet, lemma assez semblable à la glume supérieure, plane sur le dos ; fleur supérieure ♀, aussi longue que l'épillet ou un peu plus courte, à glumelles chartacées, lisses, la lemma très convexe, présentant 2 crêtes anguleuses obtuses, l'une longitudinale, l'autre transversale.

Espèce endémique, de vaste répartition, trouvée dans les domaines humides de l'Est et subhumides de l'Ouest et du Centre. C'est, à l'origine, une espèce des lisières forestières, de stations légèrement ombragées qui s'est localement adaptée à des conditions plus rudérales : bords de chemins, adventice dans les cultures. Elle végète aussi parfois sur des arènes quartzeuses humides, et dans des rocailles à l'abri des feux, auxquels elle ne résiste pas. Dans ces stations les inflorescences et les feuilles sont souvent teintées de violacé. Elle n'a aucun intérêt en tant que fourrage.

15. **B. Humbertiana** A. Camus (fig. 158).

Herbe pérenne, cespiteuse, à rhizome ligneux, court ; chaumes dressés, parfois genouillés à la base, glabres, ramifiés aux nœuds, de 20-60 cm de haut ; nœuds glabres. Feuilles glabres ou plus ou moins pileuses, limbes linéaires aigus, parfois très étroits, de 3-10 cm de long sur 1-5 mm de large, plans ou plus ou moins enroulés ; ligule réduite à une courte membrane, tronquée, ciliolée.

Inflorescences paniculées, lâches, de 5-12 cm de long, ovées ou oblongues, à axes grêles, glabres ou portant des poils sétacés sous l'insertion des racèmes, formées de 3-8 racèmes subsessiles, lâches, dressés ou obliquement étalés, de 2-6 cm de long, assez distants les uns des autres à la base. Epillets oblongs, de 2,5-3 mm de long, glabres, solitaires au sommet des racèmes, géminés à la base et inégalement pédicellés, l'un à pédicelle court (1 mm) l'autre à pédicelle plus long (2-4 mm), paires d'épillets distantes entre elles de plus de leur longueur ; glume inférieure n'atteignant pas 1/2 de la longueur de l'épillet, largement ovée obtuse ou subaiguë, 3-nervée ; glume supérieure de la longueur et de la forme de l'épillet, à 5 nervures vert sombre ; fleur inférieure vide, à lemma semblable à la glume supérieure, 5-nervée ; fleur supérieure ♀, plus courte, à glumelles crustacées, jaunes, ridées transversalement.

Espèce endémique de la zone subaride du Sud. C'est une plante des fourrés xérophiles clairs qui s'est adaptée à des conditions plus rudérales : bords de routes, adventice dans les cultures sèches ; elle est fré-

---

FIG. 159. — *Brachiaria arrecta* (Hack.) Stent. var. *madecassa* A. Camus : a, fragment de la base d'une plante ; b, inflorescence (longue de 7 - 20 cm) ; c, épillet (long de 3,2 - 3,8 mm) face ventrale ; d, fleur supérieure fertile (face ventrale) ; e, base d'un limbe et ligule. — *Brachiaria deflexa* (Schum.) Hubb. ex Robyns : f, base d'une plante ; g, inflorescence (longue de 8 - 15 cm) ; h, épillet, face ventrale (long de 2,7 - 3 mm) ; i, fleur supérieure fertile, face ventrale.

quente dans les fourrés dégradés et ouvert à *Alluaudia procera* et *Euphorbia stenoclada*. Elle s'accommode de différents types de sols : sables dunaires, calcaires squelettiques, alluvions sableuses ou limoneuses des rivières. Elle n'est pas grégaire et est sans intérêt en tant que fourrage.

19. **B. deflexa** (Schum.) Hubb. ex Robyns (fig. 159). (= *B. regularis* (Nees) Stapf)

Noms malgaches : Ahipotsy, Ahipody.

Herbe annuelle, cespiteuse, en touffes lâches ; chaumes dressés, fasciculés, à base genouillée, ramifiés aux nœuds, glabres ou un peu pubescents, ayant de 25-70 cm de haut. Feuilles vert clair, à gaines brièvement pileuses, limbes linéaires, de 5-20 cm de long sur 5-15 mm de large, plans, arrondis à la base, finement pubescents sur les 2 faces ; ligule représentée par une ligne de poils courts et raides.

Inflorescences paniculées, lâches, ovées ou oblongues, de 8-15 cm de long sur 5-12 cm de large (parfois plus réduite sur les petits échantillons), peu exsertes et à base engainée dans la dernière feuille, formées en général de 5-12 racèmes, grêles, lâches, solitaires ou rapprochés par 2, obliquement dressés ou étalés, subsessiles, ceux de la base ayant de 4-12 cm de long, parfois composés et portant de courtes racémules secondaires ; axe de l'inflorescence et des racèmes, pédicelles des épillets, portant de longs poils plus ou moins abondants. Epillets largement ovés, aigus au sommet, de 2,7-3 mm de long, comprimés ventralement, un peu bombés dorsalement, finement pubescents, vert pâle ou jaune pâle, solitaires au sommet des racèmes puis géminés, inégalement pédicellés, l'un à pédicelle court (1 mm ou moins), l'autre à pédicelle plus long (de 2 à 12 mm) ; épillets ou paires d'épillets nettement distants les uns des autres sur l'axe des racèmes ; glume inférieure environ 1/2 de la longueur de l'épillet, largement ovée, obtuse ou subaiguë au sommet, 5-nervée, embrassante à la base ; glume supérieure de la taille et de la forme de l'épillet, 7-nervée ; fleur inférieure ♂ ou vide, lemma semblable à la glume supérieure mais 5-nervée ; fleur supérieure ♀, un peu plus courte que l'épillet, largement ovée et un peu apiculée au sommet, à glumelles crustacées, jaunes, ridée transversalement.

Espèce africaine, commune à Madagascar dans les régions sèches du Sud et subhumides de l'Ouest, n'existant pas sur les plateaux et dans l'Est. C'est une plante rudérale, du bord des routes, une adventice des cultures sèches, qui peut aussi s'introduire dans les savanes herbeuses à *Heteropogon contortus* sur les plages de sol nu. Elle occupe aussi des clairières en forêt dégradée. Elle s'accommode de différents types de substrat, sableux, calcaire, gneissique, mais croît toujours en station sèche. Bien que commune, elle ne forme guère de peuplements importants et n'a que peu d'intérêt en tant que fourrage.

Espèces introduites et cultivées, non trouvées en dehors des parcelles.

B. ruziziensis Germain et Evrard.

Grande herbe cespiteuse, pérenne, caractérisée par des inflorescences formées de 3-7 racèmes denses, axes des racèmes aplatis rubanés, larges de 3-5 mm, des épillets grands (5-6 mm de long), solitaires, contigus, à glume supérieure et lemma inférieure pileuses vers leur sommet ; des feuilles larges (10-15 mm), pileuses.

C'est une plante originaire du Congo (vallée de la Ruzizi). Elle donne une forte production d'un excellent fourrage bien appété du bétail. Elle est mieux adaptée aux régions humides de l'Est et aux plateaux. La multiplication se fait par graines, boutures ou éclats de souche.

B. brizantha (Hochst.) Stapf.

Herbe pérenne, cespiteuse qui, en bonne condition, peut atteindre 2 m de haut. Les inflorescences sont formées de 2-8 racèmes, à axe aplati, de 1 mm de large environ. Les épillets sont gros (4-6 mm), solitaires, contigus, brièvement pédicellés, habituellement glabres. Les limbes foliaires peuvent atteindre 40 cm de long sur 15 mm de large.

Espèce d'origine africaine, qui fournit un bon fourrage, réussissant bien sur les plateaux. Des sols profonds, restant frais en saison sèche sont préférables, mais elle peut aussi donner un rendement intéressant sur sols ferrallitiques de collines s'ils ne sont pas trop dégradés.

PASPALIDIUM Stapf

Genre ne comptant que peu d'espèces, des régions chaudes du globe, les principales étant australiennes. 2 espèces à Madagascar, dont 1 assez commune.

Les plantes de ce genre ressemblent à certains *Brachiaria*, mais l'épillet est orienté différemment par rapport à l'axe du racème, la glume inférieure étant tournée vers l'extérieur.

P. geminatum (Forssk.) Stapf (fig. 152).

Noms communs : Herbe de riz, Herbe siflette (Ile Maurice, La Réunion).

Herbe pérenne, rhizomateuse ; chaumes dressés, glabres, de grêles à moyennement robustes, de texture assez molle, ayant 15-90 cm de haut ; nœuds glabres. Feuilles à gaines glabres et lisses, lâches, limbes linéaires, à marges enroulées, de 4-20 cm de long (parfois plus) sur 3-8 mm de large, glabres ; ligule représentée par une ligne de poils denses.

Inflorescences composées de 4-15 racèmes dorsiventraux, sessiles, courts et denses, ceux de la base, plus longs, ayant de 1-4 cm, dressés contre l'axe principal, rarement composés et portant quelques courtes racémules à leur base ; axe des racèmes aplati, de 1-1,5 mm de large. Epillets largement ovés aigus ou elliptiques, de 2-2,5 mm de long, contigus, brièvement pédicellés, bisériés sur une face de l'axe, jaune pâle et brillant ; glume inférieure tronquée, pouvant atteindre 1/2 de la longueur de l'épillet, souvent plus courte, embrassante à la base, paraissant sans nervure ; glume supérieure un peu plus courte que l'épillet, 5-nervée ; fleur inférieure ♂, lemma de la longueur de l'épillet, 5-nervée ; fleur supérieure ♀, un peu plus courte, à glumelles coriaces, lisses.

Espèce pantropicale, signalée aussi aux îles Comores et aux Mascareignes, existant à Madagascar à basse altitude dans les domaines de l'Est et de l'Ouest.

C'est une espèce hygrophile de bords de marigots et de marais, de bordure de mangrove, supportant des sols salés. Elle est peu fréquente et ne se rencontre que sporadiquement. A La Réunion et à l'île Maurice, elle peut être, dans certaines conditions, une mauvaise herbe dans les champs de canne à sucre.

$2n = 18$ (Tateoka)

INDEX DES NOMS SCIENTIFIQUES

(Les synonymes sont en italique, l'astérisque indique les espèces figurées, la page de la figure est en chiffre gras).

Agrostideae. 41, 45
Agrostis Linn. 45, 111
» Elliottii Hack.* **112**, 113
» emirnensis (Bak.) Bosser* **114**, 115
» tsaratananensis A. Camus* **112**, 113
Alloteropsis Presl. 55, 349
» cimicina (Linn.) Stapf* **350**, 352
» paniculata (Benth.) Stapf* **346**, 352
» semialata (R. Br.) Hichc.* **350**, 351
Andropogon Linn. 53, 263
» appendiculatus Nees 271
» eucomus Nees* **264**, 265
» fastigiatus Swartz* **262**, 265
» huillensis Rendle 267
» imerinensis Bosser* **268**, 269
» ivohibensis A. Camus* **266**, 269
» trichozygus Bak.* **266**, 267
Andropogoneae. 42, 48
Anthoxanthum Linn. 43, 63
» Ecklonii (Nees) Stapf 65
» madagascariense Stapf* **62**, 63
» odoratum Linn * **62**, 65
Aristida Linn. 44, 96
» adscensionis Linn. var. mandrarensis A. Camus* 103, **104**
» ambongensis A. Camus* 97, **100**
» *barbicollis Trin. et Rupr.* 99
» congesta Roem. et Schult.* **98**, 99
» Cumingiana Trin. et Rupr.* 101, **104**
» junciformis Trin. et Rupr. 103, 105
» *multicaulis Bak.* 103
» rufescens Steud.* **98**, 103
» similis Steud.* **102**, 105
» tenuissima A. Camus* 101, **102**
Aristideae. 40, 44
Arthraxon P. Beauv. 51, 231
» antsirabensis A. Camus* **212**, 231
Arundineae. 41, 45
Arundinella Raddi 43, 68
» nepalensis Trin.* **66**, 68
» *Ecklonii Nees* 68
Arundinelleae. 40, 43
Aveneae 41,47
Axonopus P. Beauv. 56, 392
» compressus (Swartz.) P. Beauv.* **342**, 392

Bothriochloa O. Kuntze 50, 51, 215
» glabra (Roxb.) A. Camus*..... 217, **218**
» insculpa (Hochst.) A. Camus 219
» pertusa (Linn.) A. Camus* 219, **220**
Brachiaria Griseb. 56, 403
» antsirabensis A. Camus* **410**, 415
» arrecta (Hack.) Stent.* 417, **418**
» bemarivensis A. Camus* **412**, 419
» brizantha (Hochst.) Stapf 421
» deflexa (Schum.) Hubb. ex Robyns* .. **418**, 420
» distachya (Linn.) Stapf* **412**, 413
» epacridifolia (Stapf) A. Camus* **406**, 411
» eruciformis (J.E. Sm.) Griseb.* 415, **416**
» Hubbardii A. Camus* 409, **410**
» Humbertiana A. Camus* **416**, 419
» miliiformis (Presl.) A. Chase 417
» mutica (Forsk.) Stapf* **396**, 411
» nana Stapf* **360**, 414
» Perrieri A. Camus* **406**, 407
» pseudodichotoma Bosser* **348**, 413
» *regularis (Nees) Stapf* 420
» reptans (Linn.) Gardn. et Hubb.* **408**, 414
» ruziziensis Germain et Evard 420
» subrostrata A. Camus* **408**, 409
Brachypodium P. Beauv. 47, 187
» Perrieri A. Camus* **185**, 187

Calamagrostis emirnensis Bak. 115
Camusia Lorch 46,177
» Perrieri (A. Camus) Lorch* **176**, 177
Camusiella Bosser 53, 279
» Vatkeana (Schum.) Bosser* 279, **280**
Cenchrus Linn. 54, 293
» biflorus Roxb.* 295, **296**
» ciliaris Linn.* **292**, 294
» echinatus Linn.* **292**, 294
Chlorideae. 40, 43
Chloris Swartz 44, 83
» barbata Swartz* **80**, 85
» Boivinii A. Camus* **80**, 83

Chloris gayana Kunth 87
» Humbertiana A. Camus* **84**, 85
» *Perrieri A. Camus* 83
» pycnothrix Trin.* **82**, 87
» virgata Swartz* **82**, 86
Chrysopogon Trin. 49, 214
» serrulatus Trin.* 214, **232**
Coelachne R. Br. 53, 273
» africana Pilger **272**, 274
» simpliciuscula (Wight et Arn.) Munro ex Benth.* 274
Coix Linn. 48, 191
» lacryma-jobi Linn.* **190**, 191
Craspedorachis Benth. 44, 81
» africana Benth.* **78**, 81
Crypsis Ait. 45, 115
» schoenoides (Linn.) Lamk.* **114**, 116
Ctenium Panzer 43, 77
» concinnum Nees* 74, 77
Cymbopogon Spreng. 52, 260
» citratus (D.C. ex Nees) Stapf 261
» flexuosus (Nees ex Steud.) W. Wats. ... 261
» giganteus (Hochst.) Chiov. ssp. madagascariensis A. Camus* **248**, 261
» plicatus Stapf* **228**, 260
Cymbosetaria Schweick. 53, 279
» sagittifolia (A. Rich.) Schweick.* . 281, **282**
Cynodon Rich. 44, 89
» arcuatus J.S. Presl. ex C.B. Presl.* **92**, 93
» dactylon (Linn.) Pers.* **90**, 91
» plectostachyus (K. Schum.) Pilger 93
» Poissonii (A. Camus) Bosser* **88**, 89
Cyrtococcum Stapf 54, 309
» Bosseri A. Camus* **308**, 309
» deltoideum (Hack.) A. Camus* ... **308**, 309

Dactyloctenium Willd. 46, 170
» aegyptium (Linn.) P. Beauv.* .. 173, **174**
» australe Steud.* 171, **174**
» capitatum A. Camus* 171, **172**
» ctenoides (Steud.) Lorch ex Bosser* **172**, 173
Danthonia D.C. 47, 184
» Macowani Stapf* **183**, 184
Danthonieae. 41, 47
Decaryella A. Camus 44, 107
» madagascariensis A. Camus* **106**, 107
Dichanthium Willem. 51, 237
» annulatum (Forsk.) Stapf* 237, **238**
» aristatum (Poir.) Hubb.* 239, **240**
» caricosum (Linn.) A. Camus 239
Diectomis fastigiata (Swartz) Kunth 265
Digitaria Hall. 56, 366
» adscendens (H.B.K.) Henr.* **378**, 379
» ankaratrensis A. Camus* 371, **372**
» argyrotricha (Anderss.) Chiov.* 387, **388**
» atrofusca (Hack.) A. Camus* **384**, 389
» biformis Willd.* 377, **388**
» debilis (Desf.) Willd.* 369, **370**
Digitaria didactyla Willd.* 375, **378**
» *aff.* divaricata Henr.* **372**, 381
» fulva Bosser* **386**,391
» glauca A. Camus* **370**, 373
» horizontalis Willd.* 379, **380**
» Humbertii A. Camus* 373, **376**
» longiflora Pers.* **376**, 383
» madagascariensis Bosser* **382**, 389
» minutiflora (Rich.) Stapf* **374**, 381
» Perrottetii (Kunth) Stapf* 371, **374**
» psammophila Henr. 377
» sanguinalis (Linn.) Scop. 379
» *aff.* seminuda Stapf **390**, 391
» setifolia Stapf* **382**, 383
» Thouaresiana (Fluegge) A. Camus* **384**, 385
» timorensis (Kunth) Balansa* 377, **380**
» violascens Link.* **386**, 387
Dinebra Jacq. 46, 175
» Perrieri (A. Camus) Bosser* **78**, 175
» retroflexa (Vahl) Panzer 175
Diplachne P. Beauv. 47, 180
» fusca (Linn.) P. Beauv.* **179**, 180

Echinochloa P. Beauv. 56, 57, 355
» colonum (Linn.) Link.* **358**, 362
» crusgalli (Linn.) P. Beauv.* **356**, 362
» frumentacea Link. 362
» Holubii (Stapf) Stapf* **358**, 361
» pyramidalis (Lamk.) Hitch. et Chase* 359, **360**
» stagnina (Retz.) P. Beauv.* **356**, 359
Eleusine Gaertn. 46, 168
» africana Kennedy O'Byrne* **84**, 169
» coracana (Linn.) Gaertn. 170
» indica (Linn.) Gaertn. 169
Elionurus Humb. et Bonpl. 49, 207
» tristis Hack.* 207, **268**
Enneapogon Desv. 47, 182
» cenchroides (Licht.) Hubb.* **130**, 182
Enteropogon Nees 44, 95
» sechellensis (Bak.) Dur. et Schinz.* .. **94**, 95
» monostachyos (Vahl.) K. Schum. ex ex. Engler 95
Eragrostideae. 41, 45
Eragrostis P. Beauv. 46, 136
» aethiopica Chiov.* 153, **154**
» aspera (Jacq.) Nees* 153, **156**
» atrovirens (Desv.) Trin.* 161, **167**
» boinensis A. Camus* 157, **160**
» capensis (Thunb.) Trin.* **148**, 149
» Capuronii A. Camus* **140**, 145
» Chabouisii Bosser **144**, 145
» Chapelieri (Kunth) Nees* **148**, 155
» chloromelas Steud. 166
» cilianensis (All.) Lut.* **144**, 147
» ciliaris (Linn.) R. Br.* **142**, 143
» curvula (Schrad.) Nees 166
» cylindriflora Hochst.* 151, **152**
» diplachnoides Steud. 141

Eragrostis gangetica (Roxb.) Steud.* **150**, 164
» gummiflua Nees* **150**, 151
» lateritica Bosser* 159, **162**
» namaquensis Nees* **140**, 141
» passa Rendle **154**, 164
» pilosa (Linn.) P. Beauv.* 155, **165**
» plana Nees* **158**, 163
» poaeoides P. Beauv.* **146**, 147
» sarmentosa (Thunb.) Trin.* 157, **158**
» stolonifera Hochst. ex Steud.* 161, **165**
» tef (Zucc.) Trotter 166
» tenella (Linn.) P. Beauv. ex Roem. et Schult.* **142**, 143
» tenuifolia Hochst. ex Steud.* 163, **167**
Eriochloa Kunth 55, 343
» *acrotricha (Steud.) Hack. ex Thell.* 347
» borumensis Stapf 345
» Meyeriana (Nees) Pilger.* 343, **344**
» nubica (Steud.) Hack. et Stapf ex Thell. **344**, 347
» parvispiculata Hubb.* **346**, 347
Euchlaena mexicana Schrad. 193
Euclasta Franch. 52, 239
» condylotricha (Hochst.) Stapf* **204**, 239
Eulalia Kunth 49, 213
» villosa (Thunb.) Nees* **212**, 213

Festuca Linn. 47, 191
» Camusiana St Yves* **185**, 191
Festuceae. 41, 47

Hackelochloa O. Kuntze 48, 205
» granularis O. Kuntze* 205, **206**
Halopyrum Stapf 45, 133
» mucronatum (Linn.) Stapf* **132**, 133
Helictotrichon Bess. ex Roem. et Schult. 47, 182
» avenoides (Bak.) A. Camus* **181**, 184
» clongatum (Hochst. ex A. Rich.) Hubb. 184
Hemarthria R. Br. 48, 203
» altissima (Poir.) Stapf* 203, **204**
Heteropogon Pers. 51, 233
» betafensis A. Camus* **234**, 236
» contortus (Linn.) P. Beauv.* **234**, 235
Hyparrhenia Anderss. 52, 243
» cymbaria (Linn.) Stapf* **252**, 253
» diplandra (Hochst.) Stapf 257
» *dissoluta (Nees) Hubb.* 241
» filipendula (Hoscht.) Stapf* **244**, 245
» hirta (Linn.) Stapf* **246**, 247
» Newtonii (Hack.) Stapf* **242**, 251
» H. aff. nyassae (Rendle) Stapf* 249, **250**
» rufa (Nees) Stapf* **248**, 249
» Schimperi (Hochst. ex A. Rich.) Anderss. ex Stapf* **246**, 255
» variabilis Stapf* **254**, 255
Hyperthelia Clayton 52, 241
» dissoluta (Nees) Clayton* 241, **242**

Imperata Cyr. 49, 209
» cylindrica (Linn.) P. Beauv.* 209, **210**
Isachne R. Br. 53, 271
» mauritiana Kunth 271
» muscicola A. Camus* **270**, 273
Isachneae 42, 53
Isalus Phipps 43, 65
Isalus Humbertii (A. Camus) Phipps 67
» isalensis (A. Camus) Phipps* **64**, 65
Isachaemum Linn. 48, 193
» arcuatum (Nees) Stapf 197
» heterotrichum Hack.* 195, **196**
» purpurascens Stapf* **194**, 197
» rugosum Salisb.* 193, **194**

Lasiorrachis Stapf 50, 229
Lasiorrachis Viguieri (A. Camus) Bosser* **226**, 229
Leersia Swartz 42, 61
» hexandra Swartz* **60**, 61
» Perrieri (A. Camus) Launert* **60**, 63
Leptocarydion Hochst. ex Benth. et Hook. 46, 175
» vulpiastrum (de Not.) Stapf* **134**, 175
Leptochloa P. Beauv. 47, 178
» coerulescens Steud.* **132**, 180
» squarrosa Pilger* **94**, 178
Leptureae. 40, 43
Lepturus R. Br. 43, 73
Lepturus R. Br. 43, 73
» Humbertianus A. Camus* **72**, 75
» radicans (Steud.) A. Camus* 75, **90**
» repens (G. Forst.) R. Br.* **72**, 73
Loudetia Hochst. 43, 68
» filifolia Schweick. subsp. Humbertiana A. Camus* **64**, 69
» madagascariensis (Bak.) Bosser* **70**, 71
» simplex (Nees) Hubb. subsp. stipoides (Hack). Bosser* 69, **70**

Maydeae. 42, 48
Melinis P. Beauv. 54, 305
minitiflora P. Beauv.* **206**, 305
Microchloa R. Br. 43, 79
» caffra Nees 81
» Kunthii Desv.* **76**, 79

Neostapfiella A. Camus 44, 95
» Perrieri A. Camus* **76**, 95
Neyraudia Hook. f. 45, 131
» arundinacea (Linn.) Henr.* **130**, 131
» *madagascariensis Hook. f.* 131

Oplismenus P. Beauv. 56, 353
» Burmannii (Retz) P. Beauv.* 353, **354**
» compositus (Linn.) P. Beauv.* **354**, 355
» hirtellus (Linn.) P. Beauv. 355
Oryza Linn. 42, 57
» Eichingeri Peter 61
» longistaminata A. Chev. et Roerhr.* **58**, 59
» *madagascariensis (A. Chev.) Roshev.* 59

Oryza punctata Kotschy ex Steud.* **58**, 59
» sativa Linn. 57
Oryzeae 40, 42
Oxyrachis Pilger 48, 201
» gracillima (Bak.) Hubb.* 201, **202**
Paniceae 42, 53
Panicoideae 39, 42
Panicum Linn. 55, 318
» ambositrense A. Camus* 327, **328**
» brevifolium Linn.* 325, **326**
» cinctum Hack.* **324**, 339
» Decaryanum A. Camus* **322**, 327
» Dregeanum Nees* **336**, 340
» *glabrescens Steud.* 340
» glanduliferum Schum.* **324**, 325
» Hochstetteri Steud. 329
» *humile Nees ex Steud.* 333
» *longijubatum Stapf* 340
» luridum Hack.* **334**, 335
» mahafalense A. Camus* **322**, 323
» maximum Jacq. **320**, 321
» novemnerve Stapf* **330**, 339
» parvifolium Lamk.* **332**, 333
» Perrieri A. Camus* 329, **330**
» pseudovoeltzkowii A. Camus* **336**, 337
» subalbidum Kunth* **338**, 340
» trichocladum Hack.* 337, **338**
» umbellatum Trin.* 331, **332**
» uvulatum Stapf* **326**, 329
» Voeltzkowii Mez 335
» walense Mez..... 333, **334**
Pappophoreae 41, 47
Paratheria Griseb. 53, 277
» prostrata Griseb.* 277, **278**
Paspalidium Stapf 57, 421
» geminatum (Forsk.) Stapf * **400**, 421
Paspalum Linn. 56, 392
» Commersonii Lamk.* 397, **400**
» conjugatum Berg.* 393, **394**
» dilatatum Poir.* 395, **396**
» notatum Fluegge 403
» nutans Lamk.* 398, **401**
» paniculatum Linn.* **394**, 399
» polystachyum R. Br.* 399, **402**
» scrobiculatum Linn. 399
» Urvillei Steud. 403
» vaginatum Swartz* 397, **398**
» virgatum Linn. 403
Pennisetum Rich. 54, 295
» atrichum Stapf et Hubb.* **296**, 299
» clandestinum Hochst. ex Chiov. 302
» pedicellatum Trin.* **300**, 301
» polystachyon (Linn.) Schult.* **298**, 299
» pseudotriticoides A. Camus* 297, **298**
» purpureum Schumach. 302
» setosum (Swartz) L.C. Rich. 301
» typhoides (Burm.) Stapf et Hubb. 301
Pentaschistis Stapf 47, 186
» Perrieri A. Camus* **181**, 186
Perotideae 40, 44
Perotis Ait. 44, 107
» *aff.* patens Gand.* 107, **108**
Phalarideae 40, 43
Phragmites Adans. 45, 129
» australis (Cav.) Trin. ex Steud. 131
Phragmites mauritianus Kunth* **128**, 131
Poa Linn. 47, 187
» ankaratrensis A. Camus 189
» annua Linn.* **188**, 189
» madecassa A. Camus **188**, 189
Pogonarthria Stapf 46, 177
» squarrosa (Licht.) Pilger* 177, **179**
Pooideae 39
Pseudechinolaena Stapf 55, 341
» polystachya (H.B.K.) Stapf* . 341, **342**

Redfieldia Vasey 45, 135
» flexuosa (Thunb.) Vasey 135
» Hitchcockii A. Camus* **134**, 135
Rhynchelytrum Nees 54, 303
» repens (Willd.) Hubb.* 303, **304**
» roseum (Nees) Stapf et Hubb 303
» setifolium (Stapf) Chiov.* 305, **306**
Rhytachne Desv. 49, 208
» caespitosa (Bak.) Bosser* **202**, 208
Rottboella Linn. f. 48, 205
» exaltata Linn. f.* 205, **220**

Saccharum Linn. 49, 211
» officinarum Linn. 211
» sinense Roxb. 213
Sacciolepis Nash 55, 311
» africana Hubb. et Snowd.* **312**, 317
» auriculata Stapf* **310**, 317
» curvata (Linn.) Chase* **310**, 313
» delicatula Mez* **314**, 316
» indica (Linn.) Chase* **304**, 316
» micrococca Mez* **314**, 315
» Viguieri A. Camus* **312**, 316
Schizachyrium Nees 52, 257
» ambalavense A. Camus 259
» brevifolium (Swartz) Nees* **256**, 258
» domingense (Spreng) Nash* **256**, 259
» exile (Hochst.) Stapf* **200**, 258
» sanguineum (Retz.) Alst.* **210**, 259
» *semiberbe Nees* 259
Schoenefeldia Kunth 43, 79
» gracilis Kunth* **74**, 79
Sclerodactylon Stapf 46, 166
» macrostachyum (Benth.) A. Camus* **108**, 166
Setaria P. Beauv. 54, 281
» barbata (Lamk.) Kunth* **280**, 288
» Bathiei A. Camus* 283, **390**
» Chevalieri Stapf ex Stapf et Hubb.* **286**, 288
» geniculata (Lamk.) P. Beauv. 287
» Humbertiana A. Camus* 289, **290**
» madecassa A. Camus* 291, **360**

Setaria pallide-fusca (Schumach.) Stapf et Hubb.* ... 285, **286**
» Scottii (Hack.) A. Camus* ... **278**, 289
» sphacelata (Schumach.) Stapf et Hubb. ... 293
» splendida Stapf ... 293
» verticillata (Linn.) P. Beauv.* ... **284**, 285
Sorghastrum Nash ... 49, 215
» bipennatum (Hack.) Pilger* ... 215, **216**
Sorghum Moench ... 50, 222
» almum (Linn.) Parodi ... 227
» brevicarinatum Snowd. ... 225
» caffrorum (Retz.) P. Beauv. ... 227
» halepense (Linn.) Pers.* ... 222, **262**
» Roxburghii Stapf ... 225
» sudanense (Piper) Stapf ... 227
» *verticilliflorum* (Steud.) Stapf* ... 223, **224**
Sporoboleae ... 41, 45
Sporobolus R. Br. ... 45, 116
» africanus (Poir.) Robyns et Tournay* ... **124**, 129
» centrifugus Nees* ... **122**, 123
» coromandelianus (Retz.) Kunth* ... **119**, 120
» elatior Bosser* ... **119**, 120
» festivus Hochst.* ... **124**, 125
» halophilus Bosser* ... **126**, 127
» *Hildebrandtii Mez* ... 123
» paniculatus Dur. et Schinz ... 121
» *patulus Hack.* ... 121
» pyramidalis P. Beauv.* ... **126**, 127
» regularis Mez* ... 121, **122**
» subtilis Kunth* ... **117**, 120
» *subulatus Hack.* ... 123
» tenuissimus (Schrank.) O. Kuntze* ... **117**, 125
» virginicus (Linn.) Kunth* ... **119**, 123
Stenotaphrum Trin. ... 56, 363
» dimidiatum (Linn.) Brongn.* ... **364**, 365
» oostachyum Bak.* ... 363, **364**
» unilaterale Bak.* ... **364**, 366
Themeda Forsk. ... 51, 231
» quadrivalvis (Linn.) O. Kuntze* ... 231, **232**
» triandra Forsk. ... 231
Thuarea Pers. ... 53, 274
Thuarea involuta (G. Forst.) R. B. ex Roem. et Schult.* ... 275, **276**
» Perrieri A. Camus* ... 275, **276**
Trachypogon Nees ... 50, 230
» spicatus (Linn. f.) O. Kuntze* ... **228**, 230
Tragus Hall. ... 44, 109
» Berteronianus Schult.* ... 109, **110**
» biflorus (Roxb.) Schult. ... 109
Tricholaena Schrad. ... 54, 307
» *monachne* (Trin.) Stapf et Hubb.* ... **306**, 307
Trichopteryx Nees ... 43, 67
» Dregeana Nees* ... **66**, 67
Tripsacum laxum Nash. ... 193

Urelytrum Hack. ... 48, 199
» Humbertianum A. Camus* ... **200**, 201
» *madagascariense A. Camus* ... 199
» squarrosum Hack.* ... **198**, 199
Urochloa P. Beauv. ... 55, 349
» mosambicensis (Hack.) Dandy* ... **348**, 349

Vetiveria Lem-Lisanc. ... 50, 221
» zizanioides (Linn.) Nash.* ... 221, **254**
Viguierella A. Camus ... 45, 135
» *madagascariensis* A. Camus* ... **92**, 136

Zea Linn. ... 48, 192
» mays Linn. ... 192
Zoysia Willd. ... 45, 111
» japonica Steud. ... 111
» matrella (Linn.) Merr.* ... **110**, 111
» tenuifolia Willd. ex Thiele ... 111
Zoysieae. ... 41, 44

GLOSSAIRE DES TERMES TECHNIQUES

abaxial : se dit d'un épillet lorsqu'il tourne le dos à l'axe qui le porte ; la glume inférieure, ou, quand elle est absente, la lemma de la fleur inférieure, est orientée vers l'extérieur.

accrescent : se dit des parties d'une inflorescence ou d'une fleur, autre que l'ovaire, qui continue à s'accroître indépendamment des autres jusqu'à la maturité (axe de l'épi de *Thuarea*).

acumen : pointe terminale d'un organe brusquement rétréci à une certaine distance du sommet puis graduellement effilé.

acuminé : terminé par un acumen (sommet de feuilles, de glumes ou de glumelles).

adaxial : se dit d'un épillet dont la glume inférieure ou, quand elle est absente, la lemma de la fleur inférieure, est située contre l'axe qui le porte.

adventice : se dit de plantes croissant naturellement dans les cultures sans y avoir été semées par l'homme.

adventif : organe se développant en un point qui ne lui est pas habituel, sur une partie déjà formée et différenciée (par ex. racines des nœuds inférieurs des chaumes).

aff. : abréviation de affine : proche de, mais pour le moment ne pouvant être assimilée à cette espèce.

aile : partie aplatie et amincie prolongeant ou adhérant latéralement à certains organes. Les carènes de certaines lemmas portent parfois des crêtes qui méritent cette appellation.

amplexicaule : se dit de la base des limbes foliaires développée et élargie, embrassant la tige.

anthèse : moment de l'ouverture des fleurs et de l'émission du pollen.

anthropophile : se dit d'une plante affectionnant les endroits habités ou transformés par l'homme.

antrorse : dirigé vers l'extrémité d'un organe ; s'emploie à propos des arêtes scabres, garnies de petites pointes courtes et dures ; ces pointes peuvent être dirigées soit vers le sommet de l'arête, elles sont dites antrorses, soit vers la base, elles sont dites rétrorses.

apiculé : terminé brusquement en une pointe courte et large. (De même nature que l'acumen, alors que l'arête et le mucron sont filiformes, prolongeant seulement une nervure).

apprimé : appliqué étroitement contre.

aranéeux : se dit de poils longs, très fins, entremêlés, ressemblant par leur finesse à des fils d'araignée.

arête : appendice filiforme, raide ; droit, enroulé, ou coudé, naissant sur le dos ou à l'extrémité d'un organe (glumes, glumelles), constitué par le prolongement d'une nervure.

aristé : pourvu d'une arête.

aristule : arête courte.

article : chaque entre-nœud de l'axe d'un racème (chez les Andropogonées par exemple), ou entre-nœud séparant 2 fleurs sur la rachéole d'un épillet.

articulation : surface suivant laquelle se séparent les 2 parties d'un organe discontinu.

ascendant : se dit de tiges d'abord plus ou moins horizontales ou obliquement dressées, se redressant pour se rapprocher de la verticale.

auricule : appendice se trouvant à la jonction du limbe et de la gaine dans certaines espèces de graminées (*Oryza*), et par extension, prolongement du sommet de la gaine des feuilles.

barbelé : pourvu d'arêtes longues et raides.

barbu : pourvu de poils denses et raides, relativement courts.

bifide : divisé profondément en deux lobes étroits.

bilobé : divisé en deux parties ou lobes (voir à ce mot).

bisannuel : qui accomplit son cycle en deux saisons de végétation et meurt ensuite.

bractée : feuilles modifiées et souvent de taille réduite, ayant un rôle de protection. On les trouve en général à la base des fleurs et sur les inflorescences.

bractéole : petite bractée.

caduque : désigne un organe ou une partie d'un organe qui se sépare plus ou moins tôt d'un ensemble et tombe isolément.

cal, callus : prolongement de la base d'un épillet ou d'une fleur, parfois arrondi et peu net, mais aussi allongé dur et piquant, glabre ou barbu.

canaliculé : creusé d'un sillon long et étroit.

capillaire : se dit de poils longs et fins comme des cheveux.

capité : se dit d'une inflorescence dense et globuleuse, en tête.

carène : désigne le plus souvent une nervure en relief sur un organe (feuilles, glumes, glumelles), rappelant de façon plus ou moins prononcée la quille d'un bateau. Si elle est nettement en relief, en lame aplatie, la carène est dite ailée.

carpelle : partie unitaire d'un ovaire. L'ovaire des graminées n'a qu'un seul carpelle.

caryopse : désigne le fruit des graminées, le grain ; c'est un fruit sec, la graine étant soudée aux enveloppes du fruit.

caudé : désigne la partie extrême d'un organe, rétrécie en appendice allongé rappelant une queue (diffère de l'arête qui est mince et filiforme).

caulinaire : se dit des feuilles qui se développent aux nœuds moyens et supérieurs des chaumes.

cespiteux : en touffes denses et compactes, à chaumes dressés.

chartacé : ayant la consistance d'un papier fort.

chaume : désigne les tiges florifères des graminées.

cil : poil court et raide.

ciliolé : bordé de petits poils courts et raides.

colonne : dans certaines arêtes, désigne la partie basale torsadée.

contracté : se dit d'une inflorescence (panicule) dont les ramifications ont des pédoncules relativement courts, ce qui donne à l'ensemble un aspect plus dense se rapprochant de l'épi.

coriace : désigne chez les glumes et les glumelles une consistance ferme rappelant le cuir.

cotonneux : se dit de poils fins, denses ou assez denses, plus ou moins entremêlés.

cratériforme : se dit de petits mamelons ou glandes ornant les feuilles, les glumes ou les glumelles, creusés en leur centre d'une petite dépression.

crustacé : de consistance dure et cassante. (Par exemple chez les glumelles des fleurs fertiles de certaines Panicées).

cunéiforme : en forme de coin.

cuspidé : rétréci au sommet et terminé en pointe effilée (par rapport à caudé, la pointe est nettement moins longue).

cymbiforme : ayant la forme d'une nacelle.

diffus : par opposition à compact, se dit d'une touffe dont les chaumes sont lâchement groupés.

digité : qualifie une disposition des épis ou des racèmes groupés au sommet des chaumes et divergeant, comme les doigts d'une main.

dioïque : désigne des plantes dont les sexes sont séparés et portés sur des pieds différents.

distique : qualifie des feuilles ou des organes opposés, alternant régulièrement dans un même plan.

dorsiventral : désigne des épis ou des racèmes dissymétriques, les épillets étant portés sur une seule face de l'axe.

écologie : science qui étudie les rapports des êtres vivants entre eux et avec le milieu dans lequel ils vivent.

émarginé : qualifie le sommet ou le bord d'un organe (glume, glumelle) présentant une faible échancrure.

endémique : propre à une région géographique donnée.

entier : se dit du sommet ou du bord d'un organe quand il est régulier, sans découpure.

entre-nœud : portion de tige comprise entre deux nœuds.

épi : inflorescence simple formée d'un axe portant des épillets sessiles.

épillet : inflorescence élémentaire des graminées constituée d'un axe, la rachéole, ayant typiquement à sa base deux bractées vides, les glumes, auxquelles succèdent des fleurs distiques.

excurrent : terme qualifiant les arêtes se détachant ou se prolongeant au-delà de l'organe qui les porte.

exsert : sortant de, libre de ; par opposition à inclus, qualifie certaines inflorescences par rapport aux spathes qui les sous-tendent, ou les stigmates par rapport aux glumelles.

fasciculé : rapprochés et divergeant d'un point commun ou presque commun, en faisceau (rameaux d'une inflorescence, racines).

fastigié : nuance de fasciculé où les sommets des ramifications arrivent approximativement sur un même plan.

ferrallitique : ou latéritique ; désigne des sols évolués sous climat tropical humide. Ils sont compacts, de couleur rouge, profondément altérés, fortement acides et pauvres chimiquement, à forte teneur en alumine et oxydes de fer.

ferrugineux tropicaux : désigne des sols évolués sous climat sub-humide comportant une longue saison sèche. Ce sont des sols moins profonds que les sols ferrallitiques, de meilleure structure, un peu plus riches en éléments fertilisants bien qu'ils restent pauvres dans l'ensemble.

filet : dans une étamine, partie inférieure grêle qui porte l'anthère.

filiforme : long et mince comme un fil.

flabellé : disposé en éventail, se dit par exemple des gaines basales des feuilles distiques quand les entre-nœuds sont courts et que les feuilles sont rapprochées.

fleur : organe reproducteur d'une plante. Chez les graminées, elle se compose typiquement de deux bractées : la glumelle inférieure ou lemma et la glumelle supérieure ou paléa, de deux ou trois lodicules, de l'ovaire et des étamines. Une fleur peut être ♀ si elle contient un ovaire et des étamines, ♂ si les étamines sont présentes et l'ovaire avorté, neutre ou vide si l'ovaire et les étamines sont absents.

flexueux : désigne des pédoncules ou pédicelles fins, non rigides.

fourré : formation végétale buissonnante et dense ne dépassant pas 3 - 4 m de hauteur.

fovéole : dépression circulaire (sur les glumes et glumelles de certaines graminées : *Bothriochloa*).

fusiforme : allongé et étroit, en forme de fuseau.

gaine : partie basale de la feuille naissant aux nœuds et entourant la tige.

gazonnant : formant un gazon, c'est-à-dire se ramifiant dans toutes les directions au niveau du sol et le couvrant.

géminé : disposé par paire.

genouillé : changeant de direction et présentant un coude (chaume brusquement redressé au niveau d'un nœud, arête dont la subule n'est pas dans le prolongement de la colonne).

gibbeux : présentant de profil une bosse nettement marquée.

glabre : sans pilosité d'aucune sorte.

glabrescent : perdant rapidement toute pilosité et devenant secondairement glabre.

glomérule : chez les *Cenchrus*, les *Pennisetum*, élément d'inflorescence comprenant 1 ou plusieurs épillets entourés de nombreuses soies.

glumes : bractées vides à la base de l'épillet. Elles sont en nombre de deux, parfois de taille réduite, l'une pouvant être supprimée.

glumelles : bractées de la fleur. On distingue une glumelle inférieure ou lemma et une glumelle supérieure ou paléa.

grégaire : vivant en colonies ou peuplements importants.

halophile : qualifie une plante vivant sur des sols salés.

héliophile : qualifie une plante demandant une forte luminosité et une insolation directe pour croître normalement.

herbacé : parlant de glumes et de glumelles : de texture molle, ayant la consistance d'une feuille, et de couleur verte.

hétérogame : se dit de fleurs ou d'épillets de sexe différents. (Par exemple, chez certaines Andropogonées, dans une paire d'épillets, l'un est ♀ et fertile, l'autre ♂ ou neutre).

hétéromorphe : de forme différente. Chez les Andropogonées il arrive fréquemment que, dans une paire, les épillets soient de sexe et de forme différents.

hirsute : garni de poils raides, dressés.

holarctique : domaine géographique groupant les régions tempérées et froides de l'hémisphère Nord.

homogame : qualifie les épillets d'une même paire quand ils sont de même sexe : soit ♀, soit ♂ ou neutres.

hyalin : de texture membraneuse, fine, transparente, non coloré en vert (les paléas sont souvent hyalines).

hydromorphe : qualifie des sols inondés une bonne partie de l'année ou toute l'année ou ayant une nappe phréatique en permanence à faible profondeur et dans la formation desquels l'eau joue un rôle prépondérant. Ces sols occupent en général des bas-fonds.

hygrophile : aimant les stations humides.

imbriqué : se dit d'organes qui se recouvrent partiellement les uns les autres (Ex. : les lemmas sur la rachéole d'un épillet).

inflorescence : partie florale de la plante formée par le groupement des épillets. (Ex. : panicule, épi, racème...).

interrompu : s'agissant d'une inflorescence, une panicule spiciforme par exemple, signifie que les partie basales forment des zones individualisées, plus ou moins nettement séparées du reste de l'inflorescence.

involucre : chez les graminées, ensemble des poils ou des soies groupés en couronne sous un épillet ou un groupe d'épillets.

junciforme : long, allongé, assez rigide, rappelant la tige d'un jonc.

lacinié : à bords irrégulièrement découpés et divisés en lanières.

laineux : s'applique à des poils longs, fins, denses ou assez denses, plus ou moins frisés et entremêlés.

lancéolé : en forme de fer de lance, la plus grande largeur étant au 1/3 inférieur, le rapport de la largeur à longueur étant d'environ 1 à 3.

lemma : ou glumelle inférieure, bractée inférieure de la fleur des graminées.

ligule : membrane ou ligne de poils transversale marquant, sur la face supérieure, la séparation entre le limbe et la gaine de la feuille chez les graminées.

linéaire : long, étroit, à bords parallèles ; ce qui est fréquent pour les feuilles de graminées.

lobe : découpure arrondie, ovée ou linéaire d'un organe. L'extrémité des lemmas est ainsi souvent divisée en 2 ou plusieurs parties.

lodicules : petites pièces, peu visibles, au nombre de 2 ou 3 à la base de l'ovaire chez les graminées, représentant des vestiges du périanthe.

membraneux : de texture fine et mince mais non transparente par comparaison à hyalin.

monoïque : se dit d'une espèce ayant des fleurs de sexe séparé, ♂ et ♀, sur un même pied.

mucron : courte pointe prolongeant une nervure (se trouve au sommet d'un organe : glume, glumelle, feuille).

mucronulé : muni d'un petit mucron.

mutique : dépourvu d'arête.

naviculaire : en forme de coque de navire.

nervation : ensemble des nervures.

nervures : faisceaux vasculaires souvent en relief sur les feuilles, les glumes, les glumelles.

neutre : se dit d'une fleur dont l'ovaire et les étamines ne sont pas développées.

nœud : niveau des chaumes ou des tiges des graminées qui correspond à une zone pleine, où naissent les bourgeons donnant les ramifications, les feuilles, les racines.

oblong : de forme allongée, à bords parallèles, à extrémités arrondies.

ob- : préfixe signifiant le contraire : ex. : obové, le contraire d'ové, organe de forme ovée mais fixé par le pôle le plus étroit.

obtus : arrondi, non aigu.

ombelliforme : qui rappelle une ombelle ; dont les ramifications, de longueur différente, développent leurs extrémités approximativement sur un même plan.

orbiculaire : arrondi, dont la forme se rapproche du cercle.

ovaire :partie basale du pistil qui chez les graminées n'a qu'une seule loge et contient un ovule.

ové : ayant la forme d'un œuf, donc à pôles arrondis l'un étant plus étroit.

paléa : ou glumelle supérieure ; bractée supérieure de la fleur, faisant face à la lemma.

panicule : inflorescence ramifiée qui est une grappe composée irrégulière. (Différents types de panicules, voir généralités).

pantropical : répandu dans toutes les régions tropicales.

papilleux : désigne de petits poils courts et turgescents plus ou moins denses, hérissant une surface mais ne la rendant pas râpeuse au toucher ; qualifie aussi les poils des stigmates.

papyracé : de la consistance du papier.

pauci- : préfixe signifiant en nombre réduit : pauciflore : à peu de fleurs, paucispiculé : formé de peu d'épillets.

pectiné : muni de poils rigides, dressés, comme les dents d'un peigne.

pédicelle : rameau ultime portant l'épillet.
pédoncule : rameau portant l'inflorescence ou les parties d'une inflorescence.
pénicillé : qualifie des poils groupés à la manière d'un pinceau.
pérenne : dont la durée est de plusieurs années.
péricarpe : enveloppe de l'ovaire, puis du fruit.
pileux : muni de poils fins, assez longs, séparés et peu denses.
pilifère : zone des racines où sont implantés les poils absorbants.
pistil : organe reproducteur femelle formé de l'ovaire, du style et des stigmates.
plumeux : portants des poils disposés comme les barbes d'une plume.
pluriannuel : dont la durée est de quelques années. (Par rapport à une plante pérenne, la durée est moindre).
polymorphe : présentant des formes différentes.
port : allure générale d'une plante.
pseudopétiole : partie étroite de la base d'une feuille chez certaines graminées, simulant un pétiole.
pubescent : garni de poils courts, mous, denses ou plus ou moins lâches.
racème : ou grappe ; inflorescence ou portion d'inflorescence formée d'un axe portant des épillets pédicellés.
racémule : petit racème secondaire, court, ramification d'un racème primaire.
rachéole : axe de l'épillet.
rachis : axe d'une inflorescence ou d'une portion d'inflorescence.
radicant : se dit d'une tige qui, couchée sur le sol, s'enracine aux nœuds.
réfléchi : se dit d'un organe courbé et dirigé vers le bas faisant un angle plus ou moins aigu avec l'axe principal.
réfracté : se dit d'un organe brusquement dirigé vers le bas dès son point d'insertion.
rétrorse : le contraire d'antrorse ; voir à ce mot.
rhizome : tige souterraine portant des feuilles réduites à des écailles et s'enracinant aux nœuds.
rudéral : croissant autour des habitations, aux bords des routes, dans les décombres.
sagitté : pourvu à la base de deux lobes longs et aigus comme le fer d'une flèche.
scabérule : muni de petites aspérités courtes et dures rendant une surface ou un bord râpeux au toucher.
scabre : exagération de scabérule, à aspérités plus développées.
scarieux : mince et rigide, ayant la consistance d'une écaille.
semi-décidu : s'applique à un type de forêt sèche dont une partie seulement des arbres perd ses feuilles en saison sèche.
sessile : fixé directement sur l'axe sans l'intermédiaire d'un pédicelle ou d'un pétiole.
sétacé : se dit d'un poil long et raide, ou d'une feuille linéaire, étroite, et rigide.
sinus : fond d'une échancrure ou de l'angle séparant deux lobes.
soie : poil long et raide (poil sétacé).
spathe : feuille modifiée réduite à la gaine, parfois colorée, sous-tendant une inflorescence ou une portion d'inflorescence.
spathéole : petite spathe.
spathiforme : affectant la forme d'une spathe.
spiciforme : long et étroit comme un épi.
spinescent : aminci au sommet en pointe raide, et piquante comme une épine.
squelettique : se dit de sols érodés, peu épais, souvent caillouteux, pauvres.
stérile : se dit d'une fleur dont l'ovaire absent ou avorté ne donne pas de fruit.
stolon : tige couchée sur le sol, non souterraine, se ramifiant et s'enracinant aux nœuds.
stolonifère : émettant des stolons.
stigmate : extrémité des styles sur lesquels se fixe le pollen ; chez les graminées ils sont plumeux.
style : partie amincie du pistil, au sommet de l'ovaire.
sub- : préfixe signifiant presque ; (subégales : presque égales).
subule : désigne la partie terminale, droite, de certaines arêtes d'Andropogonées, d'Arundinellées ; la partie basale torsadée étant la colonne ; désigne aussi une arête droite et raide, à base assez large, en alène.

tallage : chez certaines graminées, mode de ramification de la base de tiges à entre-nœuds courts, formant des touffes lâches (ex. : les riz).

tenace : qualifie la rachéole quand elle ne se désarticule pas facilement.

tétragone : à quatre angles.

tomentum : poils courts ou plus ou moins longs, denses, entremêlés et formant une sorte de bourre feutrée.

triade : désigne des épillets groupés par trois.

trifide : à propos d'une arête : divisée en 3, comme chez les *Aristida.*

trigone : à trois angles.

tuberculé : portant de petits mamelons arrondis.

turgescent, turgide : gonflé.

unisexué : fleur, épillet ou inflorescence où un seul sexe est représenté.

velu : à poils mous, denses.

versatile : désigne les anthères de graminées fixées au filet par leur milieu et pouvant ainsi s'incliner sous différents angles.

verticille : groupement de plusieurs organes naissant à un même niveau.

vivace : pouvant durer plusieurs années.

xérophile : adapté à des stations sèches.

LISTE DES NOMS MALGACHES ET DES NOMS COMMUNS FRANÇAIS ET ANGLO-SAXONS

Ahibary : Echinochloa crusgalli.
Ahibelo : Panicum mahafalense.
Ahiborisoa : Andropogon trichozygus, Schizachyrium sanguineum.
Ahidambo : Heteropogon contortus.
Ahidrano : Echinochloa crusgalli, E. pyramidalis, E. stagnina.
Ahidrindra : Stenotaphrum unilaterale.
Ahidronono : Sacciolepis curvata.
Ahigisa : Coelachne simpliciuscula.
Ahikibobo : Isachne muscicola.
Ahikongona : Leersia hexandra, Rhynchelytrum repens, Sporobolus pyramidalis.
Ahilava : Echinochloa pyramidalis.
Ahimanara : Panicum mahafalense.
Ahimoso : Heteropogon contortus.
Ahipasira : Dichanthium annulatum.
Ahipisaka : Axonopus compressus, Paspalum conjugatum, Panicum subalbidum, Stenotaphrum dimidiatum.
Ahipisakalahy : Paspalum conjugatum.
Ahipodilahy : Echinochloa colonum.
Ahipody : Brachiaria deflexa, Eragrostis ciliaris, E. cylindriflora, Panicum brevifolium, P. pseudovoeltzkowii, Rhynchelytrum repens, Tricholaena monachne (1).
Ahipotsy : Brachiaria deflexa.
Ahitokotoko : Cenchrus ciliaris.
Ahitomendry : Alloteropsis semialata.
Ahitoto : Panicum pseudovoeltzkowii.
Ahitrakanga : Alloteropsis semialata.
Ahitranga : Cenchrus ciliaris.
Ahitrombilahy : Chrysopogon serrulatus.
Ahitsiporitika : Sporobolus festivus.
Ahitsoavaly : Paspalum paniculatum.
Ahitsolika : Melinis minutiflora.
Ahitsorohitra : Aristida similis, Elionurus tristis, Oxyrachis gracillima, Schizachyrium brevifolium, S. sanguineum.
Ahivivy : Paspalum Commersonii.
Akatambivy : Echinochloa colonum.
Ampemba : Sorghum Roxburghii, S. caffrorum.

(1) Ahipody veut dire l'herbe du fody. Le fody ou cardinal est un oiseau très commun et de nombreuses espèces de graminées sont appelées ainsi.

Andrasiko : Neyraudia arundinacea.
Antelope grass : Echinochloa pyramidalis.
Antsoro : Imperata cylindrica.
Arampandrotra : Cynodon dactylon.
Bahia grass : Paspalum notatum.
Bakaka : Sorghum verticilliflorum, S. brevicarinatum.
Bararata : Phragmites mauritianus.
Barnyard grass : Echinochloa crusgalli.
Berambo : Loudetia simplex subsp. stipoïdes.
Bermuda grass : Cynodon dactylon.
Betombo : Dactyloctenium aegyptium.
Blue couch : Digitaria didactyla.
Bourgou : Echinochloa stagnina.
Buffel grass : Cenchrus ciliaris, Panicum maximum.
Burr bristle grass : Setaria verticillata.
Canne à sucre : Saccharum officinarum.
Canne uba : Saccharum sinense.
Carpet grass : Axonopus compressus.
Chiendent : Cynodon dactylon.
Chiendent de bœuf : Stenotaphrum dimidiatum.
Chiendent bourrique : Stenotaphrum dimidiatum.
Chiendent des marais : Paspalum vaginatum.
Chiendent patte de poules : Eleusine indica, Dactyloctenium aegyptium.
Citronelle : Cymbopogon citratus.
Coastal burr grass : Cenchrus echinatus.
Colombus grass : Sorghum almum.
Couch grass : Cynodon dactylon.
Crowfoot grass : Dactyloctenium aegyptium.
Dallis grass : Paspalum dilatatum.
Danga : Heteropogon contortus, Trachypogon spicatus.
Dravola : Eragrostis cylindriflora.
Elephant grass : Pennisetum purpureum.
Esquine : Themeda quadrivalvis.
Famoa : Panicum subalbidum, P. maximum.
Fandridahy : Panicum umbellatum.
Fandroalakana : Paspalum vaginatum, Sporobolus virginicus.
Fandrodahy : Digitaria Humbertii.
Fandrotrarana : Cynodon dactylon.
Fandrotsana : Cynodon dactylon.
Fantaka : variation de Fataka.
Fary : Saccharum officinarum.
Fataka : Hyparrhenia rufa, Panicum subalbidum, P. maximum.
Fatakamanitra : Cymbopogon citratus.
Fatakambe : Neyraudia arundinacea.
Fatakana : Neyraudia arundinacea.

Fatakandahy : Neyraudia arundinacea.
Fataque : Panicum maximum.
Fataque duvet : Rottboellia exaltata.
Fataque des oiseaux : Sorghum verticilliflorum.
Fehena : Imperata cylindrica.
Gazon chinois : Panicum umbellatum.
Goose grass : Eleusine indica.
Gros chiendent : Eleusine indica, Stenotaphrum dimidiatum.
Guinea grass : Panicum maximum.
Haravola : Lasiorrhachis Viguieri.
Herbe aux ânes : Setaria barbata.
Herbe bambou : Setaria barbata.
Herbe blanche : Bothriochloa pertusa.
Herbe bourrique : Hemarthria altissima.
Herbe caille : Brachiaria reptans.
Herbe à cateaux : Cenchrus echinatus.
Herbe à codaya : Paspalum dilatatum.
Herbe créole : Paspalum conjugatum.
Herbe duvet : Paspalum paniculatum.
Herbe à éléphants : Pennisetum purpureum.
Herbe à épée : Paspalum dilatatum, P. Commersonii, P. polystachyum.
Herbe filante : Bothriochloa pertusa.
Herbe de Guatemala : Tripsacum laxum.
Herbe de Guinée : Panicum maximum.
Herbe de Guinée grande taille : Brachiaria mutica.
Herbe Joba : Hemarthria altissima.
Herbe la mare : Paspalum vaginatum.
Herbe à matelas : Brachiaria reptans.
Herbe napier : Pennisetum purpureum.
Herbe pagode : Cenchrus echinatus.
Herbe de Para : Brachiaria mutica.
Herbe polisson : Heteropogon contortus.
Herbe de Rhodes : Chloris gayana.
Herbe de riz : Paspalidium geminatum.
Herbe rose : Rhynchelytrum repens.
Herbe sifflette : Echinochloa colonum, Paspalidium geminatum, Brachiaria mutica.
Horo : variation de Horona.
Horombavy : A. rufescens, A. similis.
Horompotsy : Pennisetum pseudotriticoïdes, Sporobolus pyramidalis, S. africanus.
Horona : Aristida rufescens, Alloteropsis semialata, Loudetia simplex subsp. stipoïdes, Trachypogon spicatus.
Horondrano : Rhytachne caespitosa.
Hosy-hosy : voir osy - osy.
Japanese lawn grass : Zoysia japonica.
Jaragua : Hyparrhenia rufa.
Job's tears : Coix lacryma-jobi.

Johnson's grass : Sorghum halepense.
Jungle rice : Echinochloa colonum.
Kafir corn : Sorghum caffrorum.
Kalay : Rottboellia exaltata.
Karangy : Echinochloa crusgalli, E. pyramidalis, E. stagnina, Eriochloa Meyeriana.
Katsaka : Zea mays, Phragmites mauritianus.
Khus khus grass : Vetiveria zizanioides.
Kiahipody : Panicum glanduliferum.
Kifafa : Aristida rufescens.
Kifafadrano : Rhytachne caespitosa.
Kifafavavy : Aristida similis.
Kifafavola : Isalus isalensis.
Kikuyu : Pennisetum clandestinum.
Kilailay : Loudetia simplex subsp. stipoïdes.
Kilangy : Sporobolus festivus.
Kindrese : Cynodon dactylon.
Kirodrotra : Loudetia simplex subsp. stipoides.
Kivarivary : Echinochloa stagnina.
Korean lawn grass : Zoysia japonica.
Kweek : Cynodon dactylon.
Larmes de Job : Coix lacryma-jobi.
Lefondambo : Heteropogon contortus.
Mafaibarata : Eulalia villosa.
Mahabanka : Paspalum paniculatum.
Mahitsia : Sporobus elatior.
Manevika : Imperata cylindrica.
Mascarene lawn-grass : Zoysia tenuifolia.
Matsia : variation de Mahitsia.
Mauritius grass : Brachiaria mutica.
Menakapaha : Melinis minutiflora
Menapaka : Rhynchelytrum repens.
Millet sauvage : Sorghum verticilliflorum.
Molasses grass : Melinis minutiflora.
Napier grass : Pennisetum purpureum.
Natal red top grass : Rhynchelytrum repens.
Osa - Osa : variation de osy-osy.
Osi-Osi beravina : Brachiaria arrecta.
Osy - Osy : Leersia hexandra, Echinochloa crusgalli.
Paï-païk : Chrysopogon serrulatus, Aristida rufescens.
Para grass : Brachiaria mutica.
Pepeka : variation de Païkpaïk.
Petit gazon : Digitaria didactyla.
Pikombalala : Brachiaria arrecta.
Rambonalika : Pennisetum polystachyon.
Rhodes grass : Chloris gayana.

Rice grass : Leersia hexandra.
Riz : Oryza sativa.
Rooikweek : Hemarthria altissima.
Roseau : Phragmites mauritianus.
Salt water couch : Paspalum vaginatum.
Sandrahirika : Melinis minutiflora.
Sarivary : Echinochloa pyramidalis.
Sindambo : Themeda quadrivalvis.
Singarivary : Echinochloa stagnina.
Siravazaha : Andropogon trichozygus.
Snake grass : Hemarthria altissima.
Soft love grass : Eragrostis pilosa.
Songolo : Echinochloa pyramidalis.
Sorgho d'Alep : Sorghum halepense.
Sour grass : Paspalum conjugatum.
Spear grass : Heteropogon contortus.
Stink grass : Eragrostis cilianensis.
Sudan grass : Sorghum sudanense.
Sy : Hyparrhenia rufa.
Symena : Themeda quadrivalvis.
Swamp couch : Hemarthria altissima.
Taimboriky : Ischaemum rugosum.
Taindalitra : Setaria pallidefusca.
Tamatama : Dactyloctenium capitatum.
Tamatamaka : Dactyloctenium capitatum.
Tambrota : Dactyloctenium capitatum.
Tanandalitra : variation de Taindalitra.
Tarifina : Eragrostis namaquensis.
Tef : Eragrostis tef.
Tenina : Imperata cylindrica.
Téosinte : Euchlaena mexicana.
Tohiambazaha : Pennisetum pseudotriticoides.
Toïna : Sporobolus pyramidalis.
Tongolonakanga : Alloteropsis semialata.
Trainasse : Setaria barbata.
Tranomdahitra : Dactyloctenium aegyptium.
Tsako : Zea mays.
Tsangambary : Alloteropsis paniculata.
Tsibora : Dactyloctenium aegyptium.
Tsidrodrotra : Sporobolus pyramidalis.
Tsikalabana : Ischaemum rugosum, Hackelochloa granularis.
Tsikasakasa : Setaria Chevalieri.
Tsilaimbery : Coix lacryma-jobi.
Tsimanimpanarivo : Bothriochloa glabra, Hemarthria altissima.
Tsimaromana : Coix lacryma-jobi.
Tsimatimpanarivo : variation de Tsimanimpanarivo.
Tsimbony : Eragrostis cilianensis.
Tsimparifary : Panicum maximum, Echinochloa crusgalli, Sacciolepis africana.

Tsiparifary : variation de Tsimparifary.
Tsipipina : Eleusine indica, E. africana, Paspalum Commersonii.
Tsiriry : Leersia hexandra.
Tsiroadrotra : Eragrostis namaquensis.
Vakamaniro : Coix lacryma-jobi.
Varimbivy : Echinochloa colonum.
Varinakanga : Sorghastrum bipennatum.
Vary : Oryza sativa.
Vary andrianahary : Oryza longistaminata.
Vary jao : Oryza longistaminata.
Vasey grass : Paspalum Urvillei.
Velatrahitra : Cyrtococcum deltoideum.
Vero : Hyparrhenia rufa, H. cymbaria.
Verobe : Hyparrhenia cymbaria, H. variabilis.
Veroboboka : Pennisetum polystachyon.
Verofotsy : Hyparrhenia rufa.
Veromanitra : Cymbopogon citratus.
Veromena : Hyparrhenia rufa.
Verokely : Themeda quadrivalvis.
Verotsanga : Panicum maximum.
Verotsangy : Hyparrhenia cymbaria, H. variabilis.
Verovato : Hyparrhenia cymbaria, H. variabilis.
Verveine des Indes : Cymbopogon citratus.
Vetiver : Vetiveria zizanioides.
Vilona : Leersia hexandra.
Voatandro : Dactyloctenium aegyptium.
Vodikongo : Eulalia villosa.
Volotara : Phragmites mauritianus.
Volonondry : Digitaria didactyla, D. Humbertii, Panicum umbellatum.
Wild millet : Echinochloa colonum.
Yellow grass : Paspalum conjugatum.

7. ADJANOHOUN (E.). — 1964 — *Végétation des savanes et des rochers découverts en Côte d'Ivoire centrale.* 250 p. . . . . 90 F

8. CABOT (J.). — 1965 — *Le bassin du Moyen Logone.* 327 p. . . . . 100 F

9. MOURARET (M.). — 1965 — *Contribution à l'étude de l'activité des enzymes du sol: L'asparaginase.* 112 p. 50 F

10. AUBRAT (J.). — 1966 — *Ondes T dans la mer des Antilles.* 192 p. . . . . 60 F

11. GUILCHER (A.), BERTHOIS (L.), LE CALVEZ (Y.), BATTISTINI (R.), CROSNIER (A.). — 1965 — *Les récifs coralliens et le lagon de l'Ile Mayotte (Archipel des Comores, Océan Indien).* 211 p. . . . . 100 F

12. VEYRET (Y.). — 1965 — *Embryogénie comparée et blastogénie chez les* Orchidaceae-Monandrae. 106 p. 60 F

13. DELVIGNE (J.). — 1965 — *Pédogenèse en zone tropicale. La formation des minéraux secondaires en milieu ferrallitique.* 178 p. (1) . . . . . 55 F

14. DOUCET (J.). — 1965 — *Contribution à l'étude anatomique, histologique et histochimique des Pentastomes* (Pentastomida). 150 p. . . . . 60 F

15. STAUCH (A.). — 1966 — *Le bassin camerounais de la Bénoué et sa pêche.* VIII-152 p. . . . . 56 F

16. QUANTIN (P.). — 1965 — *Les sols de la République Centrafricaine.* 114 p. . . . . 30 F

17. LE BERRE (R.). — 1966 — *Contribution à l'étude biologique et écologique de* Simulium damnosum *Théobald,* 1903 (diptera, simuliidae). 206 p. . . . 50 F

18. DEBRAY (M. M.). — 1966 — *Contribution à l'étude du genre* Epinetrum *(Ménispermacées) de Côte d'Ivoire.* 76 p. . . . . 25 F

19. MARTIN (D.). — 1966 — *Études pédologiques dans le Centre Cameroun, Nanga-Eboko à Bertoua.* XLVI-92 p. + carte pédologique 1/50 000, 1/20 000 et 1/5 000, 11 coupures (couleur) + 2 cartes 1/400 000 + carte pédologique 1/200 000 (couleur) (2).

20. GUILLAUMET (J. L.). — 1967 — *Recherches sur la végétation et la flore de la région du Bas-Cavally, Côte d'Ivoire.* 266 p. . . . . 60 F

21. ROBINEAU (C.). — 1967 — *Société et économie d'Anjouan (Océan Indien).* 274 p. . . . . 80 F

22. HALLÉ (F.). — 1967 — *Étude biologique et morphologique de la tribu des Gardéniées (Rubiacées).* 160 p. . . . . 60 F

23. COUTY (Ph.), DURAN (P.). — 1968 — *Le commerce du poisson au Tchad.* 252 p. . . . . 70 F

24. HERVIEU (J.). — 1968 — *Contribution à l'étude de l'alluvionnement en milieu tropical.* 466 p. . . . . 110 F

25. ROSSIGNOL (M.). — 1968 — *Le thon à nageoires jaunes de l'Atlantique.* 118 p. . . . . 36 F

26. VENNETIER (P.). — 1968 — *Pointe-Noire et la façade maritime du Congo-Brazzaville.* 458 p. . . . . 120 F

27. BERTHOIS (L.), HOORELBECK (J.). — 1968 — *Étude dynamique de la sédimentation dans trois cours d'eau de la Guyane française: la rivière Mahury, la rivière de Cayenne et le fleuve Maroni.* 128 p. 40 F

28. DUBREUIL (P.), GIRARD (G.), HERBAUD (J.). — 1968 — *Monographie hydrologique du bassin du Jaguaribe.* 384 p. . . . . 140 F

29. MOREL (G.). — 1968 — *Contribution à la synécologie des oiseaux du Sahel sénégalais.* 179 p. . . . . 56 F

30. BACHELIER (G.). — 1968 — *Contribution à l'étude de la minéralisation du carbone des sols.* 145 p. . . . . 44 F

31. SOURNIA (A.). — 1968 — *Diatomées planctoniques du Canal de Mozambique et de l'Ile Maurice.* 124 p. . 44 F

ROCHETEAU (G.). — *Le nord de la Nouvelle-Calédonie. Région économique.* . . . . . s. presse

VÉRIN (P.). — *L'ancienne civilisation de Rurutu (Iles australes — Polynésie française). La période classique.* . . . . . s. presse

AUGÉ (M.). — *Le rivage alladian (organisation et évolution des villages alladian de Basse Côte d'Ivoire).* s. presse

BOUQUET (A.). — *Féticheurs et médecines traditionnelles du Congo-Brazzaville* . . . . . s. presse

BOSSER (J.). — *Flore des graminées des pâturages de Madagascar* . . . . . s. presse

V. INITIATIONS/DOCUMENTATIONS TECHNIQUES

(format rogné : 21 × 27, couverture verte)

H. S. HOUPEAU (J. L.), LHOSTE (J.). — 1961 — *Inventaire des appareils français pour l'épandage des pesticides.* 530 p. multigr. Les cinq volumes . . . 40 F

1. BASCOULERGUE (P.). — 1962 — *Notions d'hygiène alimentaire adaptées au Sud-Cameroun.* 31 p. . . 6 F

2. BASCOULERGUE (P.). — 1963 — *Notions d'hygiène alimentaire adaptées au Nord-Cameroun.* 44 p. . . 6 F

3. BACHELIER (G.). — 1963 — *La vie animale dans les sols.* 18 × 26, 280 p. . . . . 16 F

4. SÉGALEN (P.). — 1964 — *Le fer dans les sols.* 150 p. (3). 21 F

5. RUELLAN (A.), DELETANG (J.). — 1967 — *Les phénomènes d'échange de cations et d'anions dans les sols.* 124 p. . . . . 30 F

6. ROTH (M.). — 1968 — *Initiation à la systématique et à la biologie des Insectes.* 189 p. . . . . 20 F

7. CROSNIER (A.), BONDY (E. de). — 1968 — *Les crevettes commercialisables de la côte ouest de l'Afrique intertropicale.* 70 p. . . . . 25 F

8. DIDIER DE SAINT-AMAND (J.), DEJARDIN (J.). — 1968 — *Méthodes de fractionnement des constituants phosphorés végétaux et de correction des résultats de dosage.* 43 p. . . . . 13 F

9. DIDIER DE SAINT-AMAND (J.), CAS (G.), LEFRANC (M. F.). — *Méthodes de dosages effectuées par autoanalyse au Laboratoire de Diagnostic Foliaire de l'ORSTOM.* . . . . . s. presse

RUAL (P.), VOITURIEZ (B.). — *Modification et automatisation de la méthode de Winkler pour le dosage en mer de l'oxygène dissous.* . . . . . s. presse

MAIGNIEN (R.). — *Manuel de prospection pédologique.* s. presse

VI. TRAVAUX ET DOCUMENTS

(format rogné : 21 × 27)

1. CANTRELLE (P.). — *Étude démographique dans la région du Sine-Saloum (Sénégal). État civil et observation démographique.* . . . . . s. presse

2. DABIN (B.). — *Étude générale des conditions d'utilisation des sols de la cuvette tchadienne* . . . . s. presse

VII. L'HOMME D'OUTRE-MER

(volume broché : 13 × 22) (4)

1. DESCHAMPS (H.). — 1959 — *Les migrations intérieures à Madagascar.* 284 p. . . . . 19,50 F

2. BOUTILLIER (J. L.). — 1960 — *Bongouanou, Côte d'Ivoire.* 224 p . . . . . épuisé

3. CONDOMINAS (G.). — 1960 — *Fokon'olona et collectivités rurales en Imerina.* 236 p. . . . . épuisé

4 TARDITS (C.). — 1960 — *Les Bamiléké de l'Ouest-Cameroun.* 136 p. . . . . épuisé

5 LE ROUVREUR (J.). — 1962 — *Sahariens et Sahéliens du Tchad.* 468 p. . . . . 60 F

6. DESCHAMPS (H.). — 1962 — *Traditions orales et archives au Gabon.* 176 p. . . . . épuisé

7. OTTINO (P.). — 1963 — *Les économies paysannes malgaches du Bas-Mangoky.* 376 p. . . . . 65 F

8. KOUASSIGAN (G. A.). — 1966 — *L'homme et la terre. Droits fonciers coutumiers et droit de propriété en Afrique occidentale.* 284 p. . . . . 30 F

9. FROELICH (J. C.). — 1968 — *Les montagnards paléonigritiques.* 267 p. . . . . 38 F

VIII. OUVRAGES HORS COLLECTION OU EN DÉPOT

— ROCHE (M.). — 1963 — *Hydrologie de surface.* 18 × 27, 432 p. (3) . . . . . 75 F

IX. CARTES THÉMATIQUES

Cartes imprimées en couleurs ou en noir, avec ou sans notice, à petites, moyennes et grandes échelles, concernant :

— l'Afrique du Nord, l'Afrique de l'ouest, l'Afrique centrale et équatoriale, Madagascar, la Nouvelle-Calédonie, Saint-Pierre-et-Miquelon, la Guyane française...

dans l'une ou plusieurs des matières suivantes :

— Géophysique. — Géologie. — Hydrologie. — Pédologie et utilisation des terres. — Botanique. — Entomologie médicale. — Sciences humaines.

---

(1) En vente chez Dunod, 92, rue Bonaparte, Paris VI[e].
(2) Ce volume ne peut être obtenu que par des organismes scientifiques ou des chercheurs contre paiement des frais d'expédition.
(3) En vente chez Gauthier-Villars, 55, quai des Grands-Augustins, Paris VI[e].
(4) En vente chez Berger-Levrault, 5, rue Auguste-Comte, Paris VI[e].

O.R.S.T.O.M.

Direction générale :
24, rue Bayard, PARIS-8e

Service Central de Documentation :
70-74, route d'Aulnay - 93-BONDY

IMP. M BON - VESOUL
O. R. S. T. O. M. Éditeur
D.L. éditeur : 3e trim 1969
D.L. imp. 1478-III-69