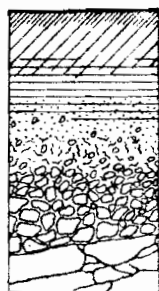


C. VALENTIN

**DIVERS ASPECTS DES DYNAMIQUES
ACTUELLES DE QUELQUES
SOLS FERRALLITIQUES DE
CÔTE D'IVOIRE**

**Recherches méthodologiques, Résultats
et interprétations agronomiques**



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE D'ADIPODOUMÉ - CÔTE D'IVOIRE

B.P.V 51 - ABIDJAN



Février 1978

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER
CENTRE D'ADIPODOUME

Laboratoire de Pédologie Expérimentale

DIVERS ASPECTS DES DYNAMIQUES ACTUELLES
DE QUELQUES SOLS FERRALLITIQUES
DE CÔTE D'IVOIRE

par

C. VALENTIN

SOMMAIRE

SOMMAIRE

RESUME

INTRODUCTION

APPROCHES METHODOLOGIQUES

1. Recherche d'une typologie pédologique adaptée aux problèmes de mise en valeur, à grande échelle.
2. Utilisation de la simulation de pluies à l'étude de la conservation des sols et de l'eau.

ETUDE DE QUELQUES SOLS FERRALLITIQUES DU COTE D'IVOIRE

1. LE DOMAINE DU SOCLE PRECAMBRIEN

- 1.1. Approches descriptives : Etude des facteurs climatiques et géologiques sur la formation des sols et des modelés de quelques toposéquences.
- 1.2. Approches expérimentales : caractérisations physiques et biologiques d'une toposéquence sur schiste de la région de Katiola.
- 1.3. Interprétations agronomiques.

2. LE DOMAINE DES SABLES TERTIAIRES

- 2.1. Approches descriptives
- 2.2. Approches expérimentales
 - . Analyse des facteurs "longueur de pente" et "hétérogénéité du couvert végétal" sur le ruissellement et l'érosion
 - . Recherche d'amélioration des techniques culturales de l'ananas.
- 2.3. Interprétations agronomiques.

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

TABLE DES MATIERES

ANNEXES.

RESUME ET INTRODUCTION

RÉSUMÉ

Un pédologue est amené, dans les pays tropicaux, à participer aux travaux de mise en valeur, de diverses manières. Il peut assurer la cartographie des sols, en étudier le comportement et l'évolution, ou collaborer avec les agronomes à la définition de techniques culturales appropriées.

Ayant pris part à divers travaux de cartographie des sols, l'auteur propose, tout d'abord, une légère adaptation de la typologie pédologique aux travaux de mise en valeur à grande échelle. Ses diverses observations du Sud au Nord de la Côte d'Ivoire l'amènent à formuler certaines remarques concernant l'action du climat et du substrat géologique sur la formation du modelé et des sols. De nombreuses mesures, réalisées sur une toposéquence sur schiste, représentative de la région de Katiola, permettent de mettre en évidence la convergence des caractères tant physiques que biologiques et de désigner le segment de haut de versant comme le plus apte à la mise en culture. Compte tenu de ces résultats et des conditions climatiques, plusieurs conclusions sont tirées sur les aptitudes culturales des sols de cette région.

En Basse Côte, le rôle du pédologue n'est plus de définir les potentialités des sols, largement cultivés, mais de veiller essentiellement à leur conservation. Des études expérimentales de l'érosion sont par conséquent nécessaires, facilitées par l'utilisation des simulateurs de pluies. Après l'analyse critique de cette nouvelle méthode, l'auteur compare les caractéristiques des pluies, simulées par les deux appareils mis au point à Adiopodoumé, à celles des pluies naturelles (taille des gouttes, énergie cinétique...). Il présente ensuite les différents résultats obtenus, grâce à cette technique, sur la mise en évidence des facteurs "longueur de pente" et "hétérogénéité du couvert végétal" sur les pertes en terre. Ces mesures font apparaître de larges différences de comportement entre les sols à texture très grossière de la région d'Abidjan et la plupart des sols étudiés ailleurs. L'auteur propose une clé d'analyse des turbidigrammes et un essai de modélisation des variations de la turbidité au cours des pluies simulées.

Il arrive également que les agronomes fassent appel au pédologue pour l'étude de problèmes particuliers. Ainsi, à la demande des responsables des grandes plantations industrielles d'ananas, plusieurs études sont en cours sur l'érosion, la lixiviation et l'évolution des résidus de récolte. A l'issue du deuxième cycle de culture sur parcelles, il est possible de comparer les trois techniques testées : enfouissement des résidus au rotavator, destruction par le feu, ou abandon en surface sans travail du sol (mulch). Il apparaît que le choix des techniques devrait tenir compte de la date de plantation. Ces études sur parcelles, ainsi que les observations en plein champ, amènent, enfin, à proposer certaines mesures visant à une meilleure conservation des sols et à une économie plus stricte des éléments fertilisants.

En conclusion, il semble que les études expérimentales réclament au préalable une bonne connaissance des sols et de leur répartition. Inversement de simples travaux de cartographie pédologique ne suffisent pas toujours à donner tous les renseignements nécessaires aux aménagistes et aux agronomes.

INTRODUCTION

La mise en valeur des sols constitue l'un des objectifs primordiaux de la Pédologie. La première étape fournit la carte pédologique indiquant la morphologie et la répartition des sols. C'est le document de base, nécessaire aux études ultérieures portant sur la résistance des sols aux diverses agressions naturelles (climat...) et artificielles (défrichement...). Par la suite, dans les régions déjà aménagées, le travail du pédologue s'oriente davantage vers la résolution des problèmes posés directement par les agronomes (choix des techniques culturales...).

Au cours de la première année de travail en Côte d'Ivoire, l'auteur a eu l'occasion d'être confronté à ces différents types de problèmes, réclamant chacun une approche méthodologique particulière. Il lui a été possible, ainsi, de se familiariser à des techniques fort différentes, mais toutes orientées vers une meilleure connaissance des relations eau-sol-plante. L'eau se trouve engagée dans un grand nombre de processus pédogénétiques : hydrolyse (altération), variations du potentiel d'oxydo-réduction (hydromorphie)... A la fois facteur limitant pour la croissance des plantes (régime hydrique des sols), agent des pertes en terre (érosion) et en éléments fertilisants (lixiviation), l'eau apparaît également comme l'élément clé des études de dynamiques actuelles.

Ce rapport présente diverses approches méthodologiques nécessaires à de telles recherches ainsi que les premiers résultats de travaux s'inscrivant dans un programme de longue durée.

APPROCHES METHODOLOGIQUES

Première Partie

APPROCHES MÉTHODOLOGIQUES

I. RECHERCHE D'UNE TYPOLOGIE PÉDOLOGIQUE ADAPTEE AUX PROBLEMES DE MISE EN VALEUR A GRANDE ECHELLE.

I.1. Présentation du problème.

La connaissance des sols et l'étude de leur répartition constituent des objectifs essentiels pour la Pédologie. Elles permettent notamment l'estimation des potentialités agricoles d'une région. Mais si une carte pédologique au 1/200 000° est susceptible de fournir des renseignements intéressants en vue de déterminer les différentes zones d'aptitudes d'une région, des échelles plus grandes (1/5 000°, 1/10 000°) sont nécessaires pour l'étude des caractères agronomiques.

Une carte pédologique est un document synthétique où sont retenus des critères stables, indépendants des projets d'aménagement. N'étant pas liée à un objectif précis, elle peut être utilisée dans des buts variés (délimitation de périmètres irrigués, recherche de zones pastorales, tracé de routes etc...).

Il reste à extraire de cette carte pédologique, une ou plusieurs données spécifiques de l'aménagement envisagé, en vue d'établir cette fois-ci un document analytique, répondant à des contingences précises. On sélectionnera, par exemple, à partir de la légende pédologique les réserves en eau pour un aménagement hydroagricole etc...

A grande échelle, le pédologue doit posséder un outil méthodologique suffisamment fin pour permettre aux aménagistes l'établissement de cartes thématiques détaillées. Dans cette optique, il a paru intéressant d'examiner les possibilités offertes par la typologie des sols proposée par CHATELIN et MARTIN (1972).

I.2. La collecte d'informations au niveau du profil : apexol et agrosol.

Pour les sols ferrallitiques, CHATELIN et MARTIN (1972) distinguent 7 horizons majeurs. Le profil est divisé en deux entités: l'apexol constitué de l'appumite et du structichron (horizons superficiels, limités arbitrairement à une profondeur de deux mètres) et l'infrasol composé des autres horizons. L'apexol est différent du pedon (JOHNSON 1963) dont la limite concorde avec la profondeur d'enracinement des plantes pérennes. CHATELIN et MARTIN (1972) soulignent que "la correspondance avec le pedon disparaît lorsque l'apexol (brachy ou lepto) est suivi d'un infrasol débutant par un horizon relativement pénétrable, que les racines peuvent parcourir, horizon gravillonnaire ou graveleux, ou altéritique, et même peut-être horizon fragistérimorphe, ou réticrome".

On conçoit que certains aménagistes, travaillant sur des cartes pédologiques au 1/200 000° (cas du Nord de la Côte d'Ivoire) soient amenés, en première analyse, et pour des raisons de délais de travail, à assimiler la limite d'apexol à une limite de contraintes

édaphiques. Toutefois, cette simplification ne paraît pas acceptable aux grandes échelles où l'introduction d'un concept plus agronomique semble nécessaire. La profondeur utile est une notion capitale en agrologie (BOULAINÉ 1971). Elle n'est pas limitée à sa base par la nature d'un horizon pédologique appartenant à l'infrasol (cas de l'apexol) mais par l'apparition de contraintes édaphiques (présence d'une nappe, taux limite d'éléments grossiers etc...). Dans le cas d'une cartographie de projet à grande échelle (1/10 000°, 1/5 000°), cette profondeur utile agricole devrait être notée sur le terrain par le prospecteur, compte tenu des différentes contraintes indiquées par les aménagistes (suivant le type de productions et de techniques agricoles).

Ainsi, il serait utile de préciser pour chaque profil, en même temps que la limite d'apexol, la limite d'agrosol (du latin ager: le champ et solum: le sol) qui constituerait un diagnostic d'utilisation agricole, utilisable à grande échelle et relatif à des conditions précises (systèmes de culture etc...).

Il existe trois variantes d'apexol: le lepto-apexol, le brachy-apexol et l'ortho-apexol définis à partir de types d'horizons majeurs et de leur profondeur. Un brachy-apexol peut avoir une profondeur comprise entre 0,25 et 1,50m (dans le Nord de la Côte d'Ivoire). Pour la distinction de différents types d'agrosols, il serait possible dans ce cas particulier d'emprunter les différents préfixes proposés par le B.N.E.T.D. (Bureau National d'Etudes Techniques de Développement) dans le cadre de l'aménagement du Nord du pays (VORON 1976):

- lepto-agrosol: la profondeur est inférieure à 25 cm; dans le cadre d'une pédologie de projet, il est considéré comme inapte à la mise en culture.
- scarro-agrosol: épaisseur comprise entre 25 et 50 cm; les façons culturales légères sont possibles mais il existe une contrainte pour les labours.
- culti-agrosol: épaisseur comprise entre 50 et 75 cm; toutes les opérations culturales sont possibles.
- dendro-agrosol: épaisseur comprise entre 75 et 100 cm; il convient aux cultures pérennes et arborescentes.
- bathy-agrosol: épaisseur comprise entre 100 et 150 cm; certaines exploitations arboricoles semblent possibles.
- ortho-agrosol: la profondeur dépasse 150 cm; il ne présente aucune contrainte agronomique.

Notons que les préfixes: scarro, culti, dendro et bathy ont été suggérés par les utilisateurs eux-mêmes en vue de subdiviser le brachy-apexol dont les limites étaient estimées trop larges (25 à 150 cm) pour une cartographie de projet.

La densité racinaire sous végétation naturelle semble un élément de diagnostic des contraintes édaphiques (cf. Domaines du socle précambrien: approches expérimentales pp.59-60). Elle pourrait entrer dans les caractères servant à définir l'agrosol.

Soient, par exemple deux lepto-apexols : l'un repose sur un pétrostérite, l'autre sur un structi-altérite bien structuré, meuble et pénétré par de nombreuses racines. Le diagnostic agrologique désignera le premier comme un "lepto-agrosol" tandis que le second deviendra un "culti-agrosol" si l'épaisseur de l'apexol et du premier horizon de l'infrasol (structi-altérite) est comprise entre 50 et 75 cm.

Inversement, un ortho-apexol (dont la profondeur excède 150 cm) pourra être constitué d'un appumite de 0 à 20 cm, d'un structichron dyscrophe bien structuré meuble de 20 à 40 cm et d'un structichron massif, non pénétré par les racines de 40 à 170 cm. Il semble que dans ce cas, seuls les deux premiers horizons appartiennent à l'agrosol. Cet ortho-apexol deviendrait alors un "scarro-agrosol".

I.3. Segment fonctionnel et Segment de contraintes.

Il n'est possible de représenter les pédons que lors de travaux à très grande échelle ($1/1\ 000^{\circ}$; $1/5\ 000^{\circ}$) ; le pédon étant pris ici dans le sens du "plus petit volume permettant de définir un sol", BOULAINÉ 1971. Aux échelles plus petites, on choisit le volume (pédon, segment ou paysage) le plus adéquat (BEAUDOU et COLLINET 1977). Dans le cas de la cartographie au $1/200\ 000^{\circ}$ du Nord de la Côte d'Ivoire, ce sont les caractères pédologiques de l'infrasol qui ont été retenus pour permettre la distinction des unités. BEAUDOU et CHATELIN (1977) apportent les précisions suivantes :

"Les toposéquences (qui définissent les paysages abstraction faite de leur étendue latérale) sont généralement complexes notamment dans les domaines ferrallitiques de savane. Elles peuvent être subdivisées en plusieurs segments fonctionnels, chacun d'eux étant caractérisé par un même type d'évolution, malgré une certaine variabilité graduelle ou aléatoire".

Compte-tenu de la diversité des sols et de l'échelle ($1/200\ 000^{\circ}$) une unité cartographique peut contenir plusieurs segments fonctionnels. Les unités cartographiques recouvrent ainsi des processus pédologiques qui ne correspondent pas toujours à des contraintes édaphiques, bien que le lien soit souvent marqué.

A grande échelle, lors de l'élaboration d'une carte de contraintes, il semblerait intéressant de regrouper les sols non pas seulement en fonction de leur caractéristiques pédogénétiques mais également agrologiques. Par analogie avec le pédon, l'agropédon serait le plus petit volume permettant de définir un agrosol. Il constituerait l'unité cartographique aux très grandes échelles. On peut concevoir l'existence d'une unité cartographique ne couvrant qu'un seul agropédon même à petite échelle, dans le cas d'un sol particulièrement homogène et à grande extension latérale (Gabon : WOLEU N'TEM, COLLINET - communication orale ; Côte d'Ivoire : région des Sables Tertiaires). Dans le cas d'une variabilité plus importante des sols, un regroupement d'agropédons au sein de la même unité serait indispensable aux petites échelles : il s'agirait du segment de contraintes, constitué d'agropédons de valeurs agrologiques voisines. On pourrait le désigner par une classe d'utilisation. Compte tenu des préoccupations actuelles, on distinguerait, par exemple, dans le Nord de la Côte d'Ivoire, les classes suivantes :

- I : apte à toutes les cultures, même irriguées
- II : pas de contraintes pour les cultures mécanisées
- III : possibilité des cultures attelées
- IV : domaine mixte : agriculture traditionnelle et élevage
- V : impropre à la culture, pâturage limité
- VI : sans utilisation actuelle.

Il serait également possible de s'inspirer de l'échelle utilisée par le Service de la Conservation des sols américains et présentée par BOULAIN (1971).

Nous donnons ici deux exemples où les segments fonctionnels ne correspondraient pas aux segments de contraintes (cf. également pp.34-36) :

Soit un segment fonctionnel constitué d'un seul pédon dominant : il occupe les "plateaux plans-convexes" de la pénéplaine du Nord Gabon (Woleu N'tem) dont l'extension latérale est de 2000 à 3000 mètres (BEAUDOU et COLLINET 1977) :

- "- contenu-sol : Ortho-apexols jaunes, argileux, pauciclude à phase aliatode sur structichron profond puis gravolite ; l'altérite y apparaît vers 7 à 10 m de profondeur.
- processus : Altération, pédoplasation kaolinitique "

Dans le cas d'une cartographie de projet, nous distinguerions pour ce segment fonctionnel, trois segments de contraintes, correspondant chacun à un agropédon : en effet, si la profondeur utile est la même (ortho-agrosols), les pentes cependant diffèrent. Nous utiliserions les classes de pente du B.N.E.T.D. :

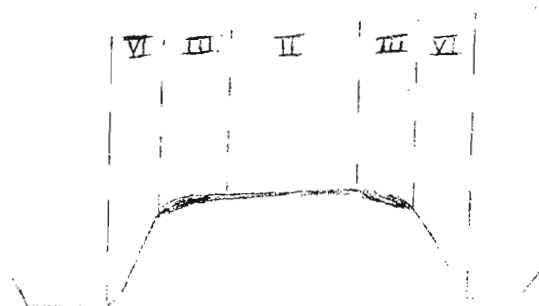
| | | | | |
|------|--------|------------|------------------------|-----|
| de 0 | à 2,5% | de pente : | segment de contraintes | II |
| 2,5 | à 5% | : | | III |
| > | 5% | : | | VI |

L'échelle du 1/200 000° permettrait dans ce cas la représentation cartographique des trois segments de contraintes. Le schéma N° 1 illustre cet exemple :

Un segment fonctionnel
à un pédon dominant



Trois segments de contraintes



Inversement pour la carte de Boundiali (BEAUDOU et SAYOL 1977), il est possible d'envisager le regroupement de plusieurs segments fonctionnels en un même segment de contraintes : c'est le cas des massifs mélanocrates : il est important pour le pédologue de distinguer le segment d'affleurement rocheux (roches mélanocrates) de celui où se manifestent les premiers processus biochimiques (lepto-apexol regolitiques sur roches mélanocrates). Lors de la rédaction de la carte dérivée, il semble, par contre, que ces deux segments fonctionnels constitueraient un seul segment de contraintes (classe VI). Ainsi certaines limites ne coïncideraient pas entre carte pédologique et carte d'utilisation.

I.4. Conclusion.

Les cartes au 1/200 000° réalisées dans le Nord de la Côte d'Ivoire (Odienné : ESCHENBRENNER et BADARELLO 1975, Boundiali : BEAUDOU et SAYOL 1977) semblent donner satisfaction aux aménagistes. Elles leur permettent de délimiter des grandes zones d'aptitudes différentes et de sélectionner ainsi les régions où devront avoir lieu les travaux de cartographie à plus grande échelle. A cette occasion la méthode proposée par BEAUDOU et CHATELIN (1977) devrait être affinée en vue de permettre une meilleure interprétation agronomique des cartes morphopédologiques.

II. UTILISATION DE LA SIMULATION DE PLUIES A L'ETUDE DE LA CONSERVATION DES SOLS ET DE L'EAU.

II.1. Présentation de l'étude.

La connaissance de la morphologie des sols et de leur répartition spatiale est absolument nécessaire, mais elle n'est pas suffisante. Décrire un objet est une opération statique, il faut connaître également son comportement vis à vis des différents agents naturels, et artificiels dûs à l'intervention de l'homme. Or, en zone ferrallitique le facteur climatique prépondérant est l'eau, les variations thermiques étant faibles.

Dans l'étude des problèmes liés à l'économie de l'eau, il paraît important de déterminer avec précision la part des précipitations perdues par ruissellement, et susceptible de provoquer l'érosion, et la part qui s'infiltré et peut être stockée par les sols. De telles recherches nécessitent des appareils et une méthodologie spécifiques. De même que les descriptions pédologiques font souvent appel à des termes d'usage courant mais peu précis, de même l'expérimentation en ce domaine utilise encore fréquemment des techniques désuètes et peu adaptées. Toutefois l'apparition d'instruments plus perfectionnés (sonde neutronique, tensiomètre de précision, simulateurs de pluies) a permis, depuis quelques années d'importants progrès dans ce domaine.

II.2. Etude critique des méthodes classiques.

Classiquement, l'intensité d'infiltration est mesurée sous lame d'eau ; les méthodes employées ne respectent pas les conditions naturelles.

En effet, elles ne mesurent pas l'infiltration du mélange biphasique air + eau, mais de l'eau seule. Or, en début de pluie, alors que le ruissellement n'est pas encore déclenché, on assiste, sous pluies naturelles, à des phénomènes de dégazages et d'emprisonnement d'air, phénomènes modifiés par l'apport brutal d'une charge d'eau.

Le choc des gouttes modifie l'état structural de la surface du sol, favorisant, suivant les types de sols, l'apparition plus ou moins rapide d'une pellicule dont la perméabilité est très inférieure à celle du sol avant la pluie. La formation de cette pellicule ou de cette croûte est donc un facteur fondamental dans l'étude du régime d'infiltration. Or sous charge d'eau les conditions sont évidemment très différentes : les modifications structurales sont dues à la dilution et non au choc des gouttes de pluies. Pour se placer dans des conditions voisines de celles des pluies naturelles, il faut par conséquent non seulement choisir l'aspersion plutôt que la submersion mais encore former des gouttes dont l'énergie cinétique est voisine de celle des pluies naturelles d'intensité correspondante.

En outre, il est presque certain que la charge d'eau intervient sur l'intensité d'infiltration. Notons que la méthode Pioger (Audry et al., 1) préconise une charge de 100 mm d'eau (soit une pression de 10 g/cm²), ce qui s'avère être environ 100 fois la détection superficielle observée communément sous une pluie naturelle ! Il n'est donc pas étonnant d'obtenir, à partir de telles méthodes, des intensités d'infiltration d'un ordre différent de celles que l'on observe dans la nature.

Les surfaces testées, de plus, sont très faibles (Müntz et Pioger : 100 cm²) ce qui nécessite un très grand nombre de répétitions et en rend l'interprétation mal aisée. Certaines restrictions d'utilisation sont très gênantes : la méthode Pioger ne peut pas être employée par exemple sur des sols humides (on ne peut alors opérer qu'en saison sèche) ou sur des sols très filtrants.

Si les critiques précédentes sont le plus souvent admises par les utilisateurs de ces méthodes, ceux-ci affirment qu'elles ont valeur de tests comparatifs et peuvent donner un ordre de grandeur acceptable (AUDRY et al., 1973). Il est probable que ces deux hypothèses sont vérifiées dans le cas, rare, des sols submergés (bas-fonds, rizières,...) à condition que la lame d'eau expérimentale soit du même ordre que la hauteur d'eau naturelle ou artificielle (irrigation par submersion) et que le sol soit saturé (Pioger exclus). Par contre, il semblerait que ces méthodes ne soient d'aucun secours pour l'évaluation des intensités d'infiltration réelles sous pluies naturelles.

En effet, A. LAFFORGUE (communication orale, juin 1977) a procédé à une série de mesures cherchant à comparer les intensités d'infiltration minimale (FN) obtenues sur les sols filtrants d'Adiopodoumé (Côte d'Ivoire) à l'aide du simulateur de pluies, type Swanson d'une part utilisé déjà précédemment (A. LAFFORGUE et B. NAAH, 1976 et l'appareil de Müntz d'autre part, cf. tableau 1.

Tableau 1 : Comparaison des intensités minimales d'infiltration (FN) mesurées au Müntz et au simulateur Swanson.

| | | Sous végétation naturelle | Sol labouré |
|--|---------|---------------------------|-------------|
| Nombre de mesures Müntz | | 25 | 50 |
| FN sous charge constante (Müntz) | Moyenne | 250 mm/h | 500 mm/h |
| | Médiane | 210 mm/h | 430 mm/h |
| FN sous averse simulée de 150 mm/h (sur sol très humide) | | 90 mm/h | 20 mm/h |

Ainsi les données obtenues à partir de l'appareil de Müntz ne seraient ni du même ordre que celles trouvées sous pluies simulées, ni même comparatives....

Les différences semblent encore plus importantes sous Pioger : nous avons trouvé sur un sol de forêt (Yapo, Côte d'Ivoire) une intensité d'infiltration de 1.500 mm/h mesurée sous Pioger (médiane de 5 répétitions) tandis que N. GUIGUEN obtient sur ce même sol une valeur de 60 mm/h comme intensité d'infiltration minimale mesurée sous infiltromètre. (Communication orale 1977)

II.3. Etude critique de la simulation de pluies.

II.3.1. Ses avantages :

De nouveaux procédés ont été mis au point pour l'étude de l'infiltration dans des conditions plus proches de celles des phénomènes naturelles. Il s'agit de la simulation de pluies dont les formes sont multiples.

Il est à noter cependant que ce sont les travaux de recherches sur l'érosion (et non, à l'origine, sur l'infiltration) qui ont amené les chercheurs à mettre au point des instruments capables de simuler des pluies. En effet, l'étude classique de l'érosion est lourde : elle nécessite la mise en place de nombreuses parcelles (dont la possibilité de comparaison n'est pas toujours très facile). Un personnel important doit assurer l'entretien, le suivi et le dépouillement des résultats. En outre, l'expérimentateur ne joue qu'un rôle d'observateur : la maîtrise des précipitations lui échappe. Comme pour la plupart des sciences expérimentales, il a paru souhaitable de se rapprocher d'un modèle dont les principaux paramètres peuvent être fixés à volonté : intensité, durée et hauteur de la précipitation. Ainsi la simulation de pluies constitue un progrès sur l'étude de l'érosion où elle permet un gain de temps, et pour l'étude de l'infiltration où elle assure une meilleure confirmation avec les conditions naturelles.

II.3.2. Ses problèmes :

Un des premiers points rencontrés par le constructeur d'un simulateur de pluies est l'obtention d'une intensité constante et connue. De plus, l'appareil doit permettre le choix parmi une gamme d'intensités aussi proche que possible de celle des pluies de la région étudiée.

Mais cette intensité s'avère ne pas être la seule caractéristique importante à prendre en compte. En effet, une même intensité peut être obtenue avec des tailles de gouttes et des vitesses d'impact au sol extrêmement variées. Ainsi une même intensité de pluie simulée peut développer au sol des énergies cinétiques différentes si la distribution de ses gouttes par classe de taille varie d'un appareil à l'autre et ne correspond pas à celle des pluies naturelles. Or, cette énergie cinétique est un paramètre fondamental pour l'analyse de l'érosivité des pluies et de l'érodibilité des sols. Elle intervient non seulement sur la mobilisation des éléments en détruisant la structure (effet splash), mais également sur l'intensité d'infiltration en favorisant la formation d'une pellicule de battance.

II.3.3. Solutions diverses :

En vue de répondre aux problèmes de la simulation de pluie de nombreux appareils ont été élaborés, correspondant chacun à un nouveau progrès vers une conformité plus grande avec les caractéristiques naturelles.

a) Les systèmes producteurs de gouttes

Le diamètre des gouttes atteignant le sol devant être connu, un certain nombre de systèmes furent mis au point pour obtenir des gouttes calibrées. Certains appareils de laboratoire et de terrain (KAZO, 1966) utilisent des embouts tous identiques et forment ainsi des gouttes ayant toutes le même diamètre. De même RIOU (1966) emploie des lames, dentées sur leur bord inférieur et disposées en escalier, permettant l'obtention de gouttes de diamètre identique (3 mm).

Grâce à l'adjonction d'un ventilateur, il est possible (BOLI, 1976) d'obtenir des gouttes plus fines et mieux réparties sur le sol. D'autres systèmes simples sont capables de produire des gouttes de différents diamètres : PALMER (1962) résoud le problème en équipant son petit simulateur de pluies d'embouts de taille différente (16 embouts de 0.3 cm à 0.03 cm de diamètre). D'autres appareils sont munis de tubes capillaires en verre ou d'aiguilles hypodermiques (MUTCHLER et MOLDENHAUER (1963)) en vue de fabriquer des gouttes de tailles différentes.

b) Les gicleurs :

Les divers procédés exposés ci-dessus ne résolvent pas le problème de l'énergie cinétique ; certains assurent une distribution satisfaisante de la taille des gouttes, mais pour la plupart la vitesse d'impact au sol est inférieure à la vitesse limite*. Pour les gouttes les plus grosses, une hauteur de chute supérieure à 10 m serait nécessaire. Ainsi, le type d'appareil précédent n'est pas conçu pour l'obtention d'énergies cinétiques voisines de celles des pluies naturelles.

Un tel inconvénient a amené certains chercheurs à utiliser de l'eau sous pression dont la vitesse initiale à la sortie du, ou des, gicleurs soit suffisante pour que les gouttes acquièrent leurs vitesses limites sur une courte hauteur de chute (2-3 m). Une étude particulière a été menée par MEYER (1958) afin de sélectionner parmi les gicleurs utilisés en irrigation (donc bon marché et d'usage courant) ceux qui correspondaient à ces caractéristiques (distribution du diamètre des gouttes, vitesses d'impact au sol). Cette recherche a permis la construction de simulateurs plus perfectionnés (MEYER et McCUNE 1958 ; SWANSON 1965) qui présentent l'intérêt d'approcher assez bien l'énergie cinétique des pluies naturelles (de 62 à 87% suivant les intensités) (MEYER 1965).

* vitesse limite : vitesse constante qu'acquiert une goutte lors d'une chute dans l'air à partir d'une hauteur minimale dépendant de sa taille.

Ces simulateurs ne couvrent pas cependant une large gamme d'intensités ; pour la plupart il leur est très difficile de diminuer la pression jusqu'aux basses intensités (inférieures à 50 mm/h) sans abandonner les références aux pluies naturelles de même intensités. C'est pourquoi, MORIN, GOLDBERG et SEGNER (1967) ont adapté un disque rotatif sous le gicleur de leur appareil de laboratoire ; un angle au centre taillé dans ce disque permet de réduire considérablement l'intensité (9 mm/h) tout en maintenant une énergie cinétique comparable à celle de la pluie naturelle correspondante (80%). Le perfectionnement du système a permis à AMERMAN, HILLEL et PETERSON (1970) d'abaisser l'intensité minimale à 2.4 mm/h. Il faut noter cependant que l'intensité maximale n'est que de 75 mm/h contre 144 mm/h pour l'appareil précédent.

II.4. Présentation des simulateurs de pluies utilisés en Côte d'Ivoire.

II.4.1. Le simulateur de pluies

Les laboratoires de Pédologie expérimentale et d'Hydrologie du Centre ORSTOM d'Abidjan ont perçu l'intérêt de l'utilisation d'un simulateur de pluies pour approfondir leurs recherches sur le ruissellement et l'érosion en zone tropicale. S'inspirant de l'appareil mis au point par SWANSON (1965) et l'adaptant aux conditions locales, une équipe pluridisciplinaire animée par M. ROOSE décida de construire un simulateur qui devint opérationnel à partir de 1974, et réalisa plusieurs missions en Côte d'Ivoire (Korhogo et Sakassou) et en Haute-Volta (Kongoussi et Loumbila). Son utilisation est prévue dans un proche avenir en forêt tropicale (Taï) (Côte d'Ivoire) et au Sahel (mare d'Oursi Haute-Volta).

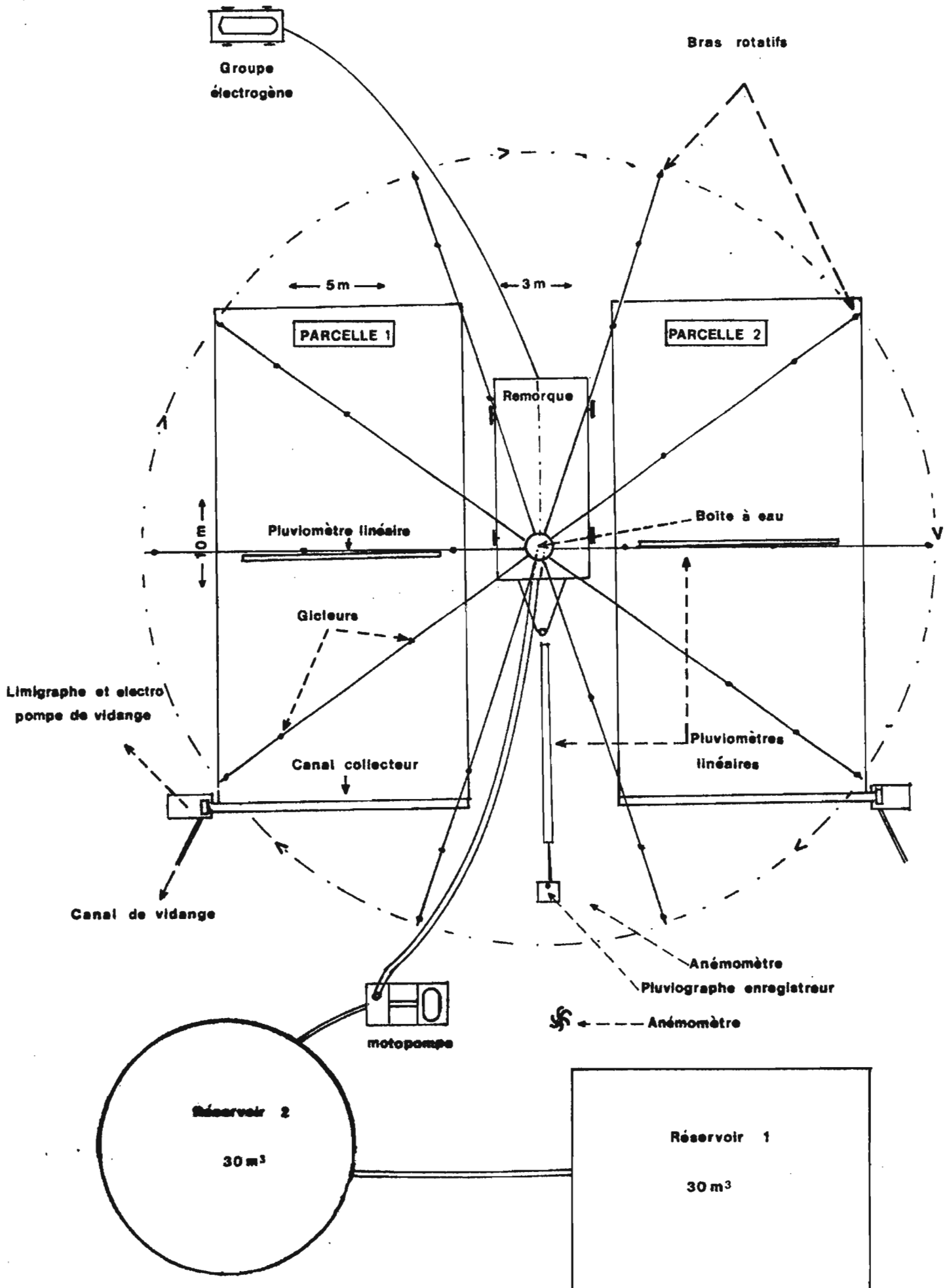
Une description détaillée de l'appareil est donnée par COLLINET et LAFFORGUE (1975), nous en rappelons ici les grandes lignes (cf. figure N° 1).

Dix bras, longs de 8 m tournent à 3.50 m au-dessus du sol autour d'un axe fixe. La vitesse de rotation est de 4 tours par minutes. Ces bras supportent 30 gicleurs dont l'ouverture peut-être réglée à volonté. L'intensité, constante au cours de la pluie simulée est déterminée par la pression utilisée et le nombre de gicleurs ouverts. Seules quatre intensités sont employées : 30, 60, 90 et 120 mm/h.

Le simulateur arrose uniformément une surface de 200 m² contenant deux parcelles rectangulaires de 50 m² (10 m x 5 m). Celles-ci sont délimitées par des tôles métalliques enfoncées de 10 cm dans le sol. A l'aval de chaque parcelle un canal récepteur, couvert d'une tôle, collecte l'eau ruisselée vers un limnigraphe enregistreur. Le contrôle de l'intensité des pluies est réalisée à l'aide d'un pluviographe enregistreur à mouvement rapide (1 tour en 96 minutes) relié à un pluviomètre linéaire de 4 m de long. Deux pluviomètres identiques permettent de vérifier l'uniformité des averses sur les deux parcelles.

Les besoins en eau étant importants, il est nécessaire d'alimenter à l'aide d'un camion citerne (8 m³) deux réservoirs de 30 m³ chacun. Il faut ajouter à ce dispositif un anémomètre totalisateur pour contrôler la faiblesse du vent, deux motopompes (une

PLAN DU SIMULATEUR DE PLUIES TYPE SWANSON D'ADIOPODOUME



pour le simulateur, une pour le camion citerne), un groupe électrogène de 5 kVA ainsi que deux électropompes pour vider les cuves limnigraphiques.

Tandis que le ruissellement est enregistré sur chaque parcelle, des échantillons d'eau sont prélevés à intervalles réguliers, en vue de déterminer l'évolution de la turbidité au cours du temps et d'en déduire l'érosion.

Cette description, bien que sommaire de l'appareil, indique l'importance des travaux de mise en oeuvre nécessaire pour son emploi. Ses frais élevés de fonctionnement limite son utilisation aux opérations à budget substantiel. Aussi, a-t-il paru intéressant de mettre également au point un appareil plus léger, correspondant à certains objectifs :

- étudier les caractéristiques du ruissellement et de l'infiltration dans les conditions les plus proches possibles des conditions naturelles ;

- recueillir suffisamment de données fiables susceptibles d'être utilisées dans de nombreux domaines :

- pédologie expérimentale (test d'érodibilité et d'instabilité structurale...)
- hydrologie (étude du ruissellement : durée de la pluie d'imbibition et intensité limite à partir de laquelle se déclenche le ruissellement...)
- agronomie (évolution de la surface du sol aux différentes intensités de pluies, comparaison de techniques culturales, intensité optimale d'irrigation par aspersion...)

- nécessiter peu de frais de construction et de fonctionnement (matériel facilement transportable et de manement aisé).

Parmi les différents appareils existants, l'infiltromètre de BERTRAND et PAAR (1960) et celui de DIXON et PETERSON (1964), couramment utilisés aux Etats-Unis pour l'expérimentation agricole (ROOSE in AUDRY et al. 1973) semblent les plus susceptibles de correspondre à ces objectifs.

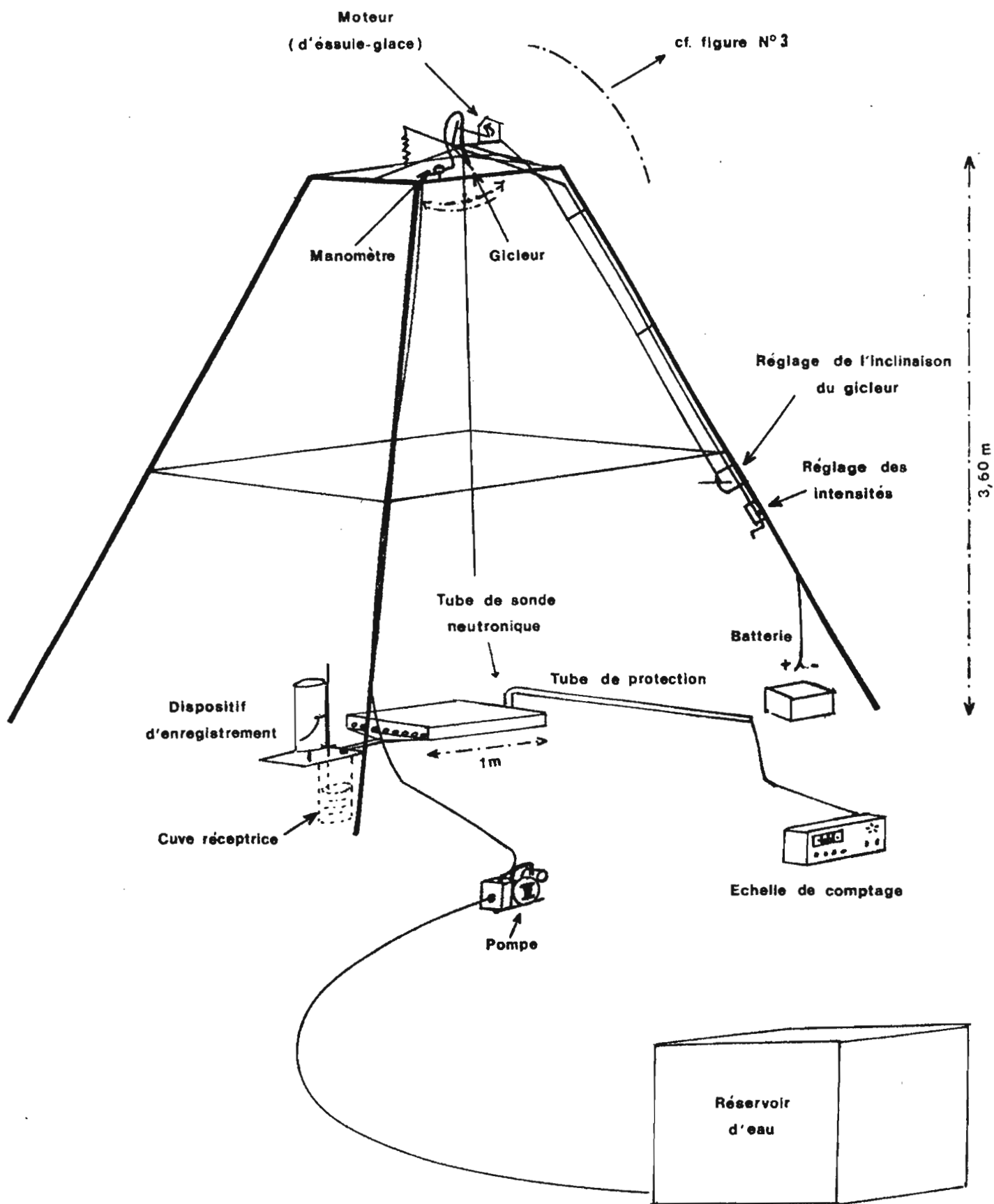
II.4.2. L'infiltromètre à aspersion

Nous ne donnons ici qu'une description succincte de ce simulateur. Un récent rapport fournit de nombreux détails de construction et d'utilisation (ASSELINE et VALENTIN 1977).

a) Principe de l'appareil

Ce simulateur permet l'étude de l'infiltration sous pluies simulées. L'intensité d'infiltration (en mm/h) est obtenue par différence entre l'intensité de l'averse et celle du ruissellement.

L'originalité de cet appareil sur les appareils précédents réside dans la possibilité de faire varier l'intensité au cours de la pluie en réglant l'angle de balancement du gicleur. La gamme s'étend, pour le moment de 30 à 140 mm/h (le modèle de BERTRAND et PAAR 1960) n'offre que trois possibilités 64, 83 et 117 mm/h). Une amélioration technique pourra abaisser l'intensité minimale à 15 mm/h.



b) Description de l'infiltromètre (cf. figure 2)

Ce simulateur est constitué d'un gicleur utilisé sur les appareils de traitements phytosanitaires, animé d'un mouvement de balancier par un moteur électrique. (fig. n° 3 - ASSELINE). L'ensemble est supporté par une tour démontable, en forme de pyramide tronquée, susceptible de recevoir une bache pour la protection contre le vent.

Le gicleur arrose, suivant l'intensité, une surface variant de 3.5 m² à 14 m². Un dispositif permet de maintenir l'axe d'oscillation du gicleur au dessus du centre de la parcelle d'expérimentation.

Cette parcelle d'1 m² est limitée par un cadre rigide enfoncé de 8 cm dans le sol. En aval, une gouttière collecte les eaux de ruissellement vers un limnigraphe à mouvement rapide. L'intensité de pluie est connue avec précision grâce à un bac pluviométrique d'1 m², relié au limnigraphe, dont on recouvre la parcelle avant et après chaque essai.

L'alimentation en eau est assurée par une petite motopompe (moteur deux temps) ; un réservoir de 600 l facilement transportable dans un véhicule léger (Peugeot 404 bachée, Land Rover) permet de contenir l'eau nécessaire à un essai d'une heure et demie.

Cet infiltromètre, construit et mis au point en 1977 est actuellement utilisé par le laboratoire de Pédologie Expérimentale en savane et celui d'Hydrologie en forêt tropicale. Compte tenu des besoins, un deuxième appareil, identique au premier, doit prochainement être mis en construction.

II.5. Energie cinétique de pluies simulées.

Nous avons vu que l'obtention de l'énergie cinétique la plus proche possible de celle des gouttes de pluies était l'un des points capitaux à contrôler lors de la construction d'un simulateur de pluies. Il s'est donc avéré nécessaire d'étudier attentivement les caractéristiques des pluies simulées par les deux appareils, existant actuellement en Côte d'Ivoire.

II.5.1. Les intensités

Le simulateur "Swanson" ne fonctionne que pour quatre intensités qui ne peuvent être réglées qu'à l'arrêt de l'appareil. L'infiltromètre offre la possibilité d'utiliser toutes les intensités comprises entre 30 et 120 mm/h ; il semble, de plus, que la possibilité de changement d'intensité au cours de la pluie constitue un progrès appréciable en simulant plus fidèlement les précipitations naturelles. Les observations effectuées par LAFFORGUE (1977) montrent que cette méthode permet une analyse plus fine des phénomènes de ruissellement et d'infiltration.

II.5.2. La taille des gouttes.

- a) Calibrage des gouttes : la méthode est indiquée en annexe.
 b) Résultats :

1) Sous infiltromètre

Les résultats pour l'infiltromètre sont présentés au tableau N° 2 et sur les figures N°s 5 et 6.

Les courbes granulométriques cumulatives ont été tracées pour différentes intensités de pluies simulées, en portant en abscisses les diamètres des agrégats et en ordonnées les masses des différentes fractions granulométriques (exprimées en pourcentages cumulés de la masse totale). Les diamètres d'agrégats D₂₅, D₅₀ et D₇₅ correspondent à 25%, 50% et 75% de la masse totale des agrégats. La relation obtenue (cf. en annexe et figure N° 4).

$$D_e = 0,985 D_f^{1,02} \quad (r = 0.99)$$

(mm) (mm)

permet ainsi de connaître les diamètres de gouttes correspondants. D₅₀, "diamètre moyen" est la valeur centrale caractérisant la taille des gouttes, D₂₅ et D₇₅ donnent une idée de leur répartition.

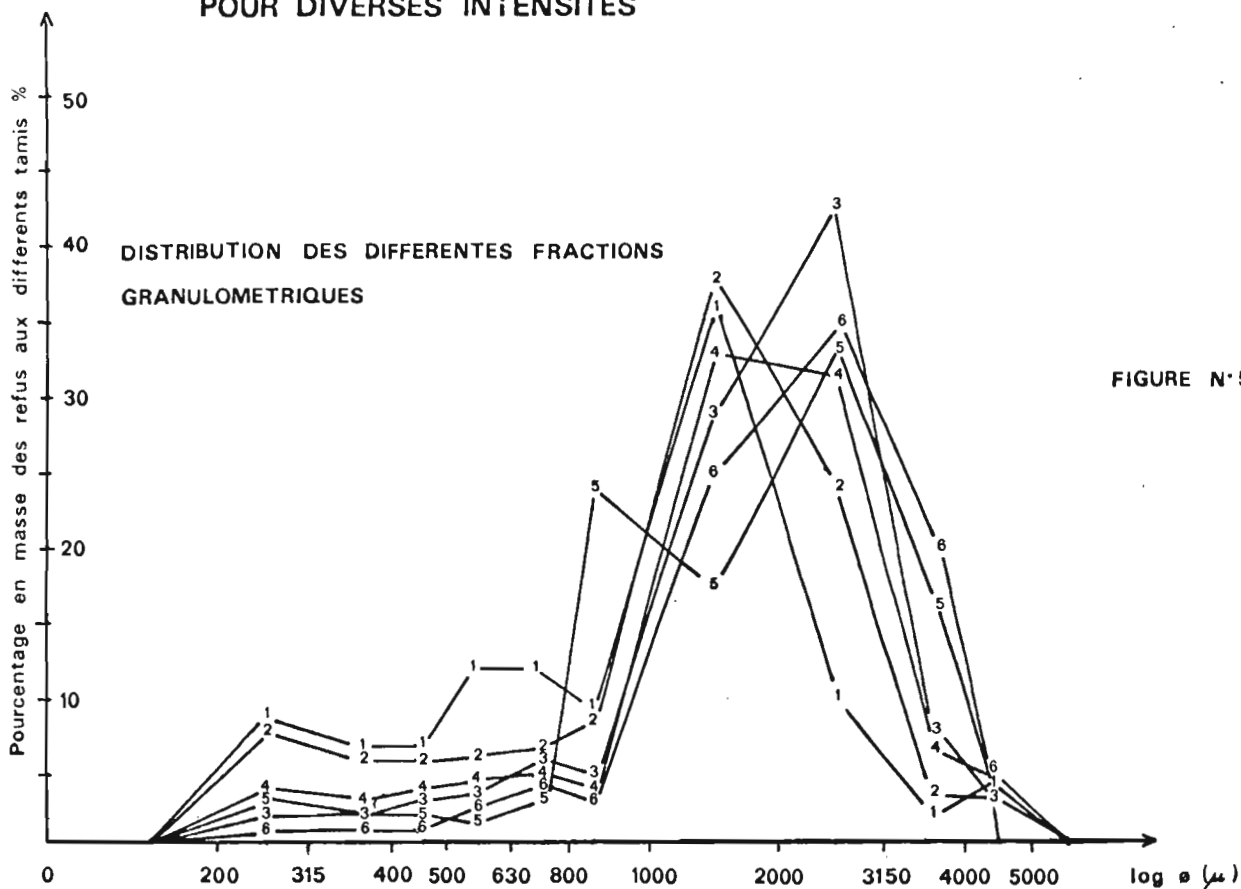
Le tableau N° 2 présente ces différentes valeurs :

Tableau n° 2 : Intensités de pluies et diamètre des gouttes sous infiltromètre.

| Intensités (mm/h) | 37 | 45 | 60 | 90 | 120 | 140 |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|
| D ₂₅ (mm) | 0,47 | 0,61 | 1,03 | 0,89 | 0,79 | 1,01 |
| D ₅₀ (mm) | 0,84 | 1,06 | 1,49 | 1,34 | 1,35 | 1,67 |
| D ₇₅ (mm) | 1,22 | 1,59 | 2,10 | 2,07 | 2,16 | 2,47 |

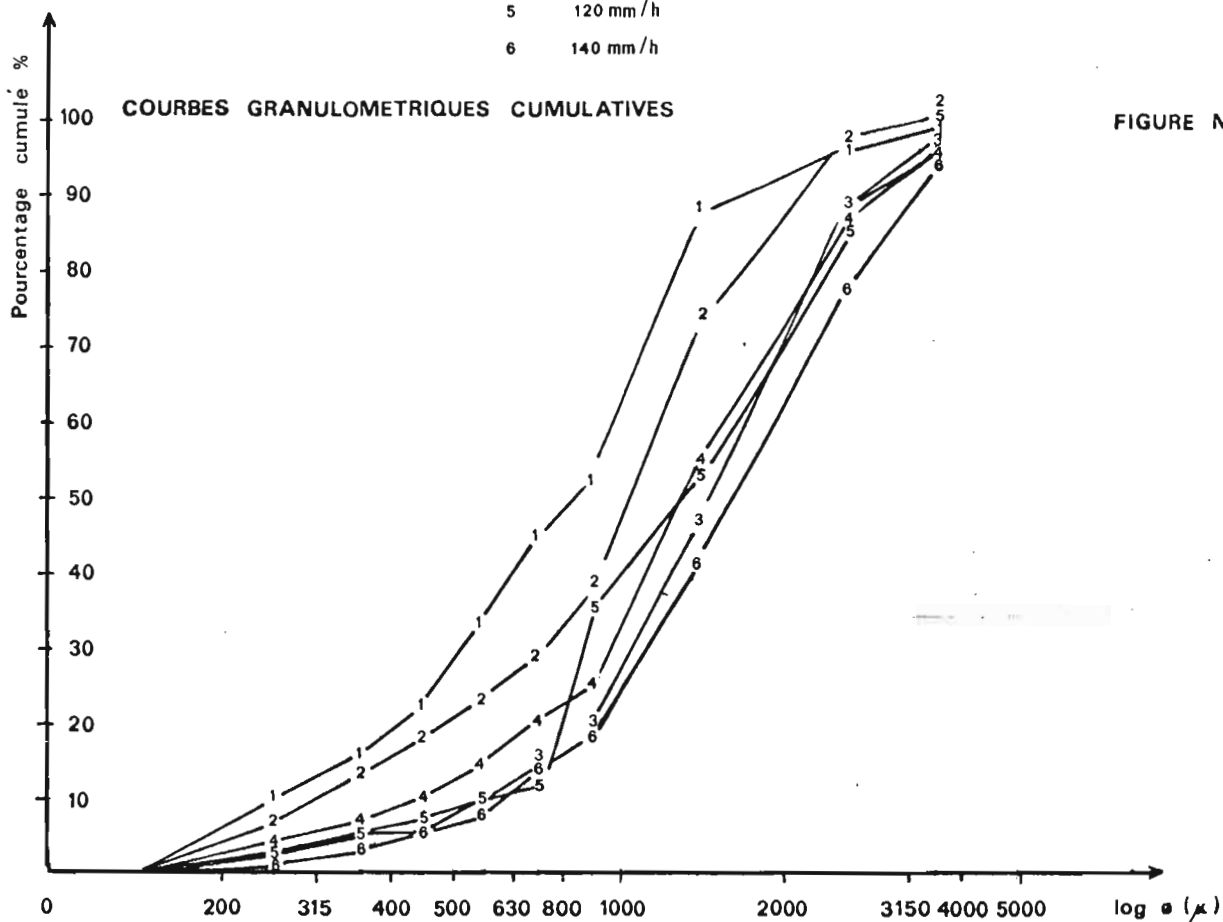
Utilisant une pression constante, la seule source de variation du diamètre des gouttes provient du balancement du gicleur. Il s'opère, en effet, un tri des gouttes : à faible intensité, le balancement est maximal et les grosses gouttes tombent très loin de la parcelle. Au fur et à mesure que le balancement diminue, une proportion plus grande de gouttes de fort diamètre tombe sur la surface étudiée (gouttes de 2000 à 3150 μ d'après la figure N° 5). A partir de 60 mm/h l'équilibre est atteint et la distribution du diamètre des gouttes varie peu en fonction de l'intensité. A partir de 120 mm/h, on assiste à une nouvelle augmentation. La proportion des petites gouttes (de 0 à 400 μ) devient très petite. Du fait du balancement faible aux fortes intensités se produit-il une ventilation moins grande des gouttes ? Le fractionnement des gouttes à la sortie du gicleur serait alors moins facilité par une force centrifuge plus faible, ou bien s'agit-il d'un artefact ? : la densité des gouttes au sol augmente la probabilité pour que plusieurs gouttes tombent en un même point. On compterait alors pour un seul agrégat de farine, de masse importante, l'agglomération de plusieurs.

DIAMETRE DES GOUTTES OBTENUES AU SOL PAR L'INFILTROMETRE POUR DIVERSES INTENSITES

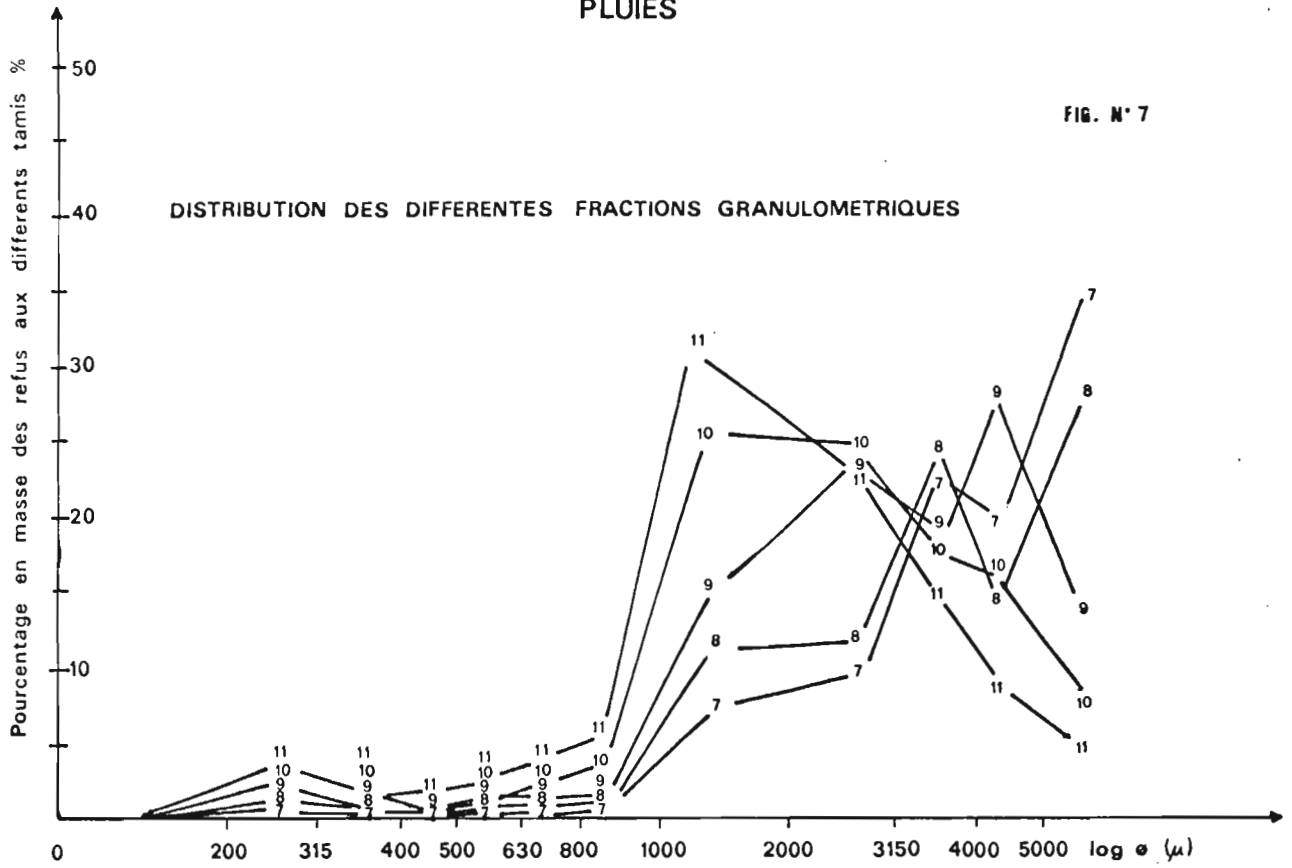


INTENSITES

- 1 37 mm / h
- 2 45 mm / h
- 3 60 mm / h
- 4 90 mm / h
- 5 120 mm / h
- 6 140 mm / h



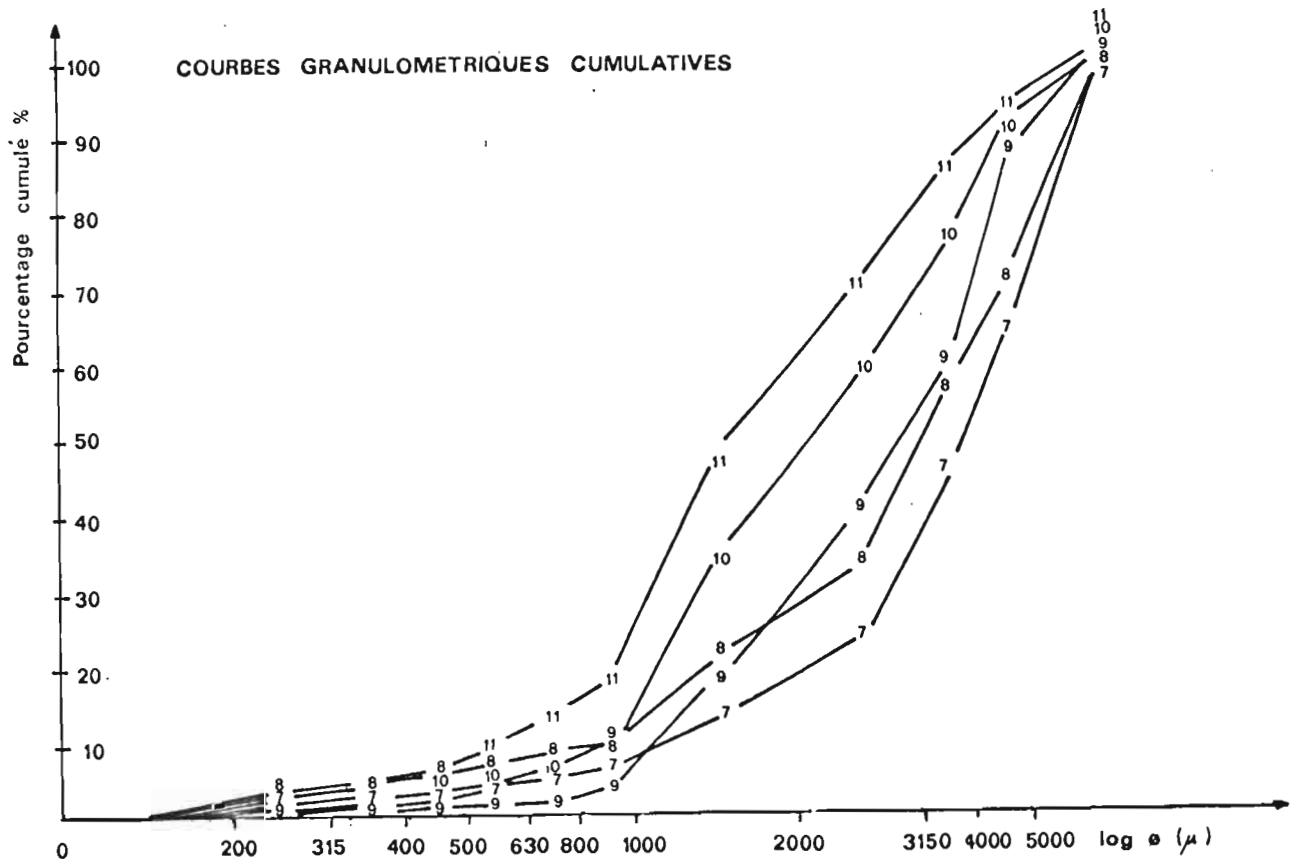
DIAMETRE DES GOUTTES OBTENUES AU SOL PAR LE SIMULATEUR DE
PLUIES



INTENSITES

- 7 30 mm / h
- 8 45 mm / h
- 9 60 mm / h
- 10 90 mm / h
- 11 120 mm / h

FIG. N° 8



2) Sous simulateur de pluies

Les résultats pour le "simulateur Swanson" sont présentés au tableau N° 3 et sur les figures N°s 7 et 8.

Tableau N° 3 : Intensités de pluies et diamètres des gouttes sous "simulateur Swanson".

| Intensités (mm/h) | 30 | 45 | 60 | 90 | 120 |
|----------------------|------|------|------|------|------|
| D ₂₅ (mm) | 2.52 | 1.65 | 1.60 | 1.17 | 0.88 |
| D ₅₀ (mm) | 3.50 | 3.30 | 2.90 | 2.05 | 1.40 |
| D ₇₅ (mm) | 5.10 | 4.80 | 4.00 | 3.50 | 2.70 |

Contrairement à l'infiltromètre, la taille des gouttes diminue avec l'intensité. Les variations proviennent des réglages de pressions et d'ouvertures des gicleurs. Pour toutes les intensités les gouttes obtenues sous le simulateur sont plus grosses que sous l'infiltromètre.

c) Comparaison avec les pluies naturelles

1) Infiltromètre

La variabilité du diamètre des gouttes pour une même intensité est élevée sous les pluies naturelles. Ne disposant pas encore suffisamment de résultats à Adiopodoumé, nous utilisons, comme références, les données obtenues par HUDSON(1973) en Rhodésie.

La comparaison des deux courbes (figure N° 9) montre une nette différence entre les pluies naturelles et les pluies simulées. Le diamètre moyen des gouttes obtenues sous ce gicleur, à la pression de 300 g/cm² ne représente que de 40 à 60% de celui trouvé par HUDSON (1973) sous les pluies naturelles.

Or il n'est pas possible de corriger ce défaut par variation de pression : une pression plus basse réduirait la surface de garde ; une pression plus élevée provoquerait une diminution de la taille des gouttes par pulvérisation et augmenterait la consommation en eau.

Si ces résultats paraissent faibles par rapport à ceux trouvés par HUDSON (1975), nous verrons par la suite qu'ils sont très proches de ceux obtenus par d'autres auteurs sous pluies naturelles.

2) Simulateur de pluies

Le diamètre des gouttes est nettement supérieur à celui des pluies naturelles pour les faibles intensités (figure N° 9) : à 30 mm/h (pression 250 g/cm²) il atteint 1.7 fois le diamètre moyen mesuré par HUDSON (1973). Il lui est égal entre 60 et 90 mm/h et inférieur pour les intensités plus élevées (60% du D₅₀, obtenu par HUDSON à 120 mm/h. Mais de nombreux auteurs ont trouvé des diamètres moyens inférieurs à ceux d'HUDSON (KER 1954 ; MIHARA 1951). Il est donc très probable que la taille des gouttes sous simulateur est bien

CALIBRAGE DES GOUTTES

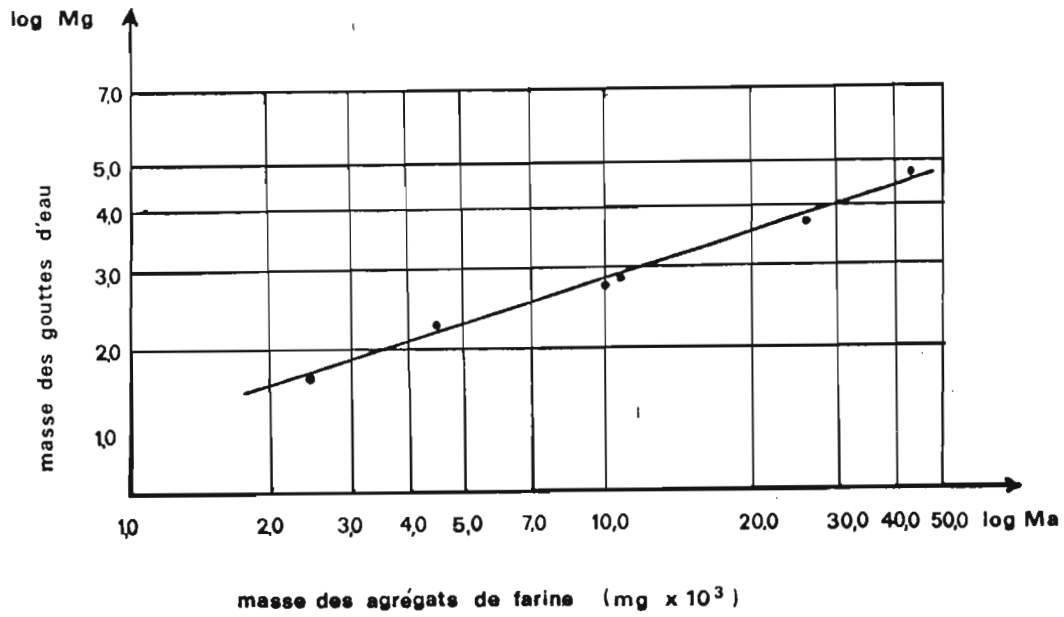


FIGURE N° 4

RELATION ENTRE LE DIAMETRE MOYEN DES GOUTTES ET L'INTENSITE

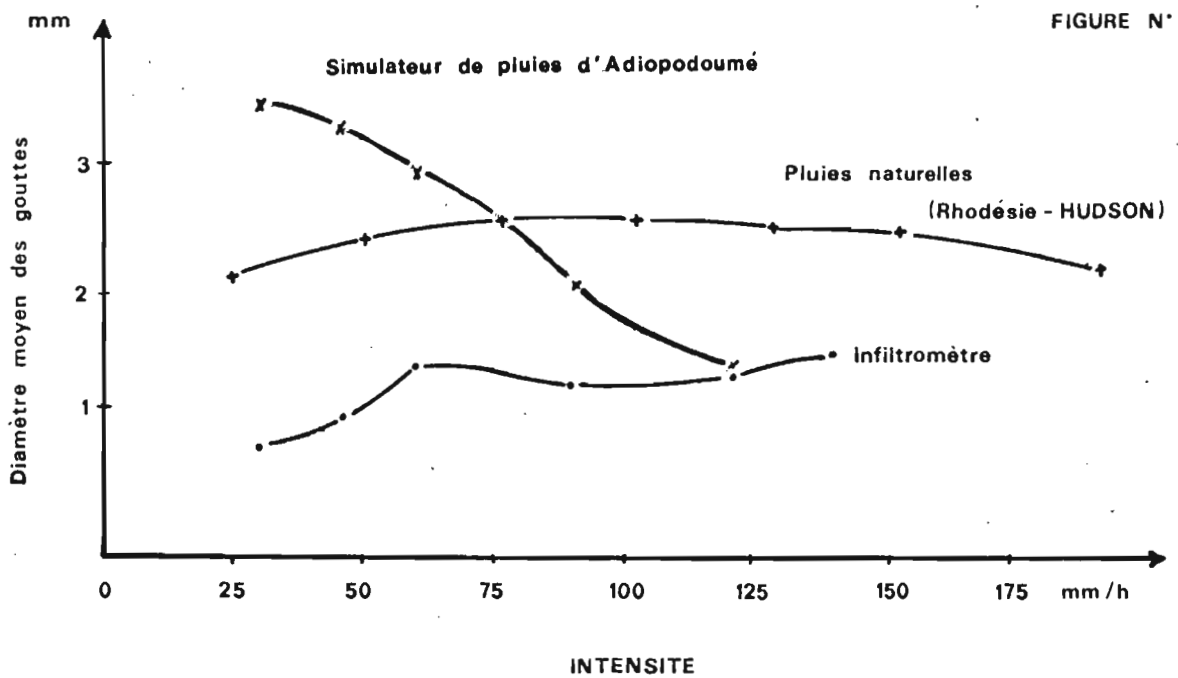


FIGURE N° 9

supérieure à celle des pluies naturelles, surtout aux basses intensités. Les réglages déterminés empiriquement à Adiopodoumé en vue d'obtenir aisément les intensités souhaitées devraient être repris afin de corriger ce défaut.

II.5.3. Les vitesses d'impact au sol

a) Infiltromètre

1) Présentation du problème

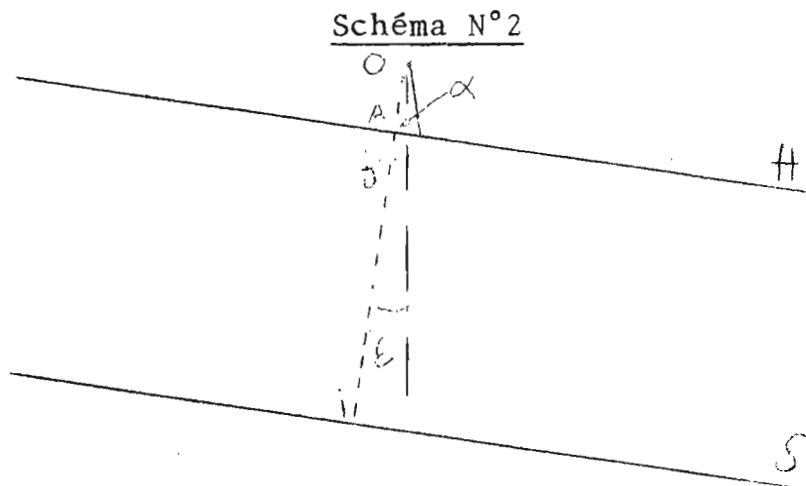
Considérons v_0 la vitesse initiale radiale à la sortie du gicleur et v_t la vitesse tangentielle due à son balancement. La résultante v_i de ces deux vitesses est telle que :

$$v_i^2 = v_0^2 + v_t^2$$

Effectuons deux simplifications :

- nous admettons que toutes les gouttes interceptées par la parcelle d'essai sont animées de la même vitesse initiale v_i et sont issues d'un même plan H, parallèle au plan S du sol celui-ci étant assimilé à une surface plane. Notons que H et S ne sont pas horizontaux mais que le réglage d'inclinaison permet à H de rester parallèle à S ;

- cette simplification nous semble acceptable ; elles sous-entend que la vitesse de balancement du gicleur reste constante pour les positions les plus proches de la verticale et que la variation relative de la hauteur du gicleur reste faible. Le demi-angle α , correspondant à l'aspersion effective de la parcelle est de l'ordre de 20° (avec une variation de 15 à 30° environ suivant les intensités).



Soit ϵ l'angle que font H et S avec l'horizontale. Pour une pente de 5% cet angle vaut environ 3° .

$$OJ - OA = OJ (1 - \cos(\alpha + \epsilon))$$

Or $\alpha + \varepsilon \neq 23^\circ$

$$\overline{OJ} = 0,20 \text{ m}$$

d'où :

$$\overline{OJ} - \overline{OA} : 0,016 \text{ m}$$

Or $\overline{IJ} = 3,50 \text{ m}$

d'où :

$$\overline{OI} - \overline{OA} = 0,46 \%$$

On voit par conséquent que l'erreur ainsi causée par cette simplification est très faible. Elle semble donc justifiée.

Nous assimilerons les gouttes d'eau à des points matériels libres et mobiles dans le champ de la pesanteur, soumis à leur seul poids et non à la résistance de l'air (en un premier temps). Nous considérons que chaque goutte est lancée du plan H avec une vitesse initiale v_i d'orientation variable.

Ecrivons que l'augmentation de l'énergie cinétique est égale à la diminution du potentiel :

$$1/2 (mv_s^2 - mv_i^2) = mgh$$

$$\text{D'où } v_s = \sqrt{v_i^2 + 2gh}$$

avec : h = distance entre les deux plans H et S (hauteur en m)

v_s = vitesse d'impact sur la parcelle (m/s)

v_0 = composante radiale de la vitesse initiale v_i (m/s)

v_t = composante tangentielle de v_i (m/s).

On a ainsi :

$$(1) \quad v_s = \sqrt{v_0^2 + v_t^2 + 2gh}$$

Afin de déterminer la vitesse d'impact au sol, il convient donc de préciser au préalable les composantes de la vitesse initiale

v_0 et v_t .

2) Vitesse tangentielle v_i :

La vitesse de balancement est supposée constante pour les angles d'aspersion effective de la parcelle. Pour déterminer cette vitesse de balancement pour chaque intensité, on a mesuré, dans chaque cas, l'angle balayé α par le gicleur en une période T . Celui-ci étant entraîné par un moteur à mouvement de rotation uniforme, la période T reste constante.

$$(T = \frac{53}{60} ; \quad T = 1,13 \text{ seconde})$$

On a :

$$v_t = \omega \cdot R$$

$$(m/s) \quad (rad./s \cdot m)$$

$$v_t = \frac{\alpha}{T} \cdot R$$

avec ω = vitesse angulaire de balancement (rad./s)

et R = distance du centre de balancement à l'extrémité du gicleur. $R = 0,20$ m.

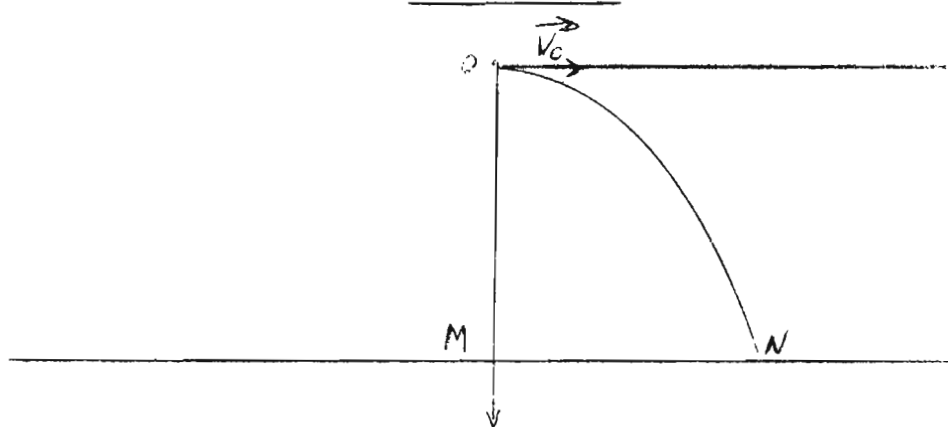
Tableau N° 4 : Intensités et vitesses tangentielles

| Intensités (m/s) | (grades) | α (radians) | v_t (m/s) |
|---------------------|----------|-----------------------|----------------|
| 37 | 300 | 4,71 | 0,83 |
| 45 | 252 | 3,96 | 0,70 |
| 60 | 192 | 3,02 | 0,53 |
| 90 | 128 | 2,01 | 0,36 |
| 120 | 100 | 1,57 | 0,28 |
| 140 | 82 | 1,29 | 0,23 |

3) Vitesse radiale v_0

Un point libre et mobile lancé avec une vitesse horizontale au-dessus d'un plan S décrit une parabole avant de toucher ce plan :

Schéma N° 3



La composante de la vitesse initiale v étant nulle suivant l'axe Oz , et celle de l'accélération g étant nulle suivant l'axe Ox , on a :

$$v_0 = \frac{dx}{dt^2}$$

d'où, au temps t :

$$x = \int_0^t v_0 dt$$

et

$$z = \int_0^t g t \, dt$$

quand $t = 0$ x et z sont nuls, d'où

$$x = V_0 t$$

et $z = 1/2 g t^2$, on en déduit :

$$v_0 = x \sqrt{g/2z}$$

En mesurant \overline{MN} (cf. schéma N°3), et connaissant OM la hauteur de chute, on a :

$$v_0 = \overline{MN} \sqrt{\frac{g}{2 \cdot \overline{OM}}}$$

Cette relation ne tient pas compte de la résistance de l'air. En réalité, la distance \overline{MN} mesurée est inférieure à la distance théorique. Cette vitesse initiale v_0 est donc minorée.

Notons que MEYER(1958) a utilisé une méthode proche de celle-ci : au lieu de mettre le gicleur à l'horizontale, il l'a pointé vers le haut, à la verticale et a mesuré la hauteur h atteinte par le jet.

$$\text{On a alors : } v_0 = \sqrt{2gh}.$$

Cette méthode ne tient pas compte non plus de la résistance de l'air; en outre elle est très peu précise : il est en effet très difficile de déterminer la hauteur moyenne atteinte par les gouttes ; cette hauteur dépend de leur taille.

La méthode ici utilisée permet de déterminer de façon précise la distance moyenne \overline{MN} :

On place dans l'axe du gicleur, situé à l'horizontal une batterie de 18 pluviomètres de même surface d'ouverture (400 cm^2). On opère à l'abri du vent pendant 10 minutes. Sur chaque pluviomètre, on mesure l'intensité reçue à la distance \overline{MN} correspondante. Les figures N° A et B donnent la distribution de ces intensités en fonction de la distance \overline{MN} , ainsi que cette distribution en pourcentage cumulé. Ce dernier graphique permet d'apprécier la distance \overline{MN}_{50} telle que 50% de l'eau tombe en deçà et 50% au delà.

Pour une hauteur de gicleur de 3,50 m, on trouve $\overline{MN}_{50} = 3,10 \text{ m}$: on en déduit :

$$v_0 = 3,10 \sqrt{9,81/2 \cdot 3,50}$$

$$v_0 = 3,67 \text{ m/s}$$

$$\text{en prenant } g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

DETERMINATION DE LA VITESSE RADIALE MEDIANE

Répartition des Intensités en fonction de la distance au gicleur

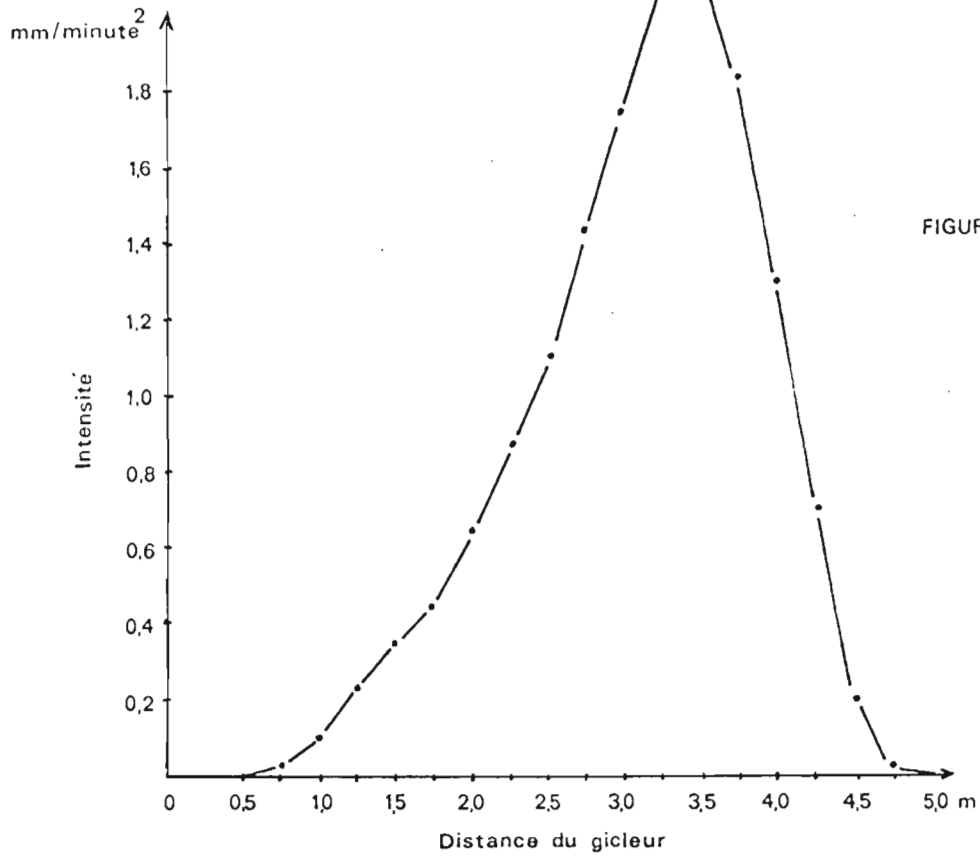
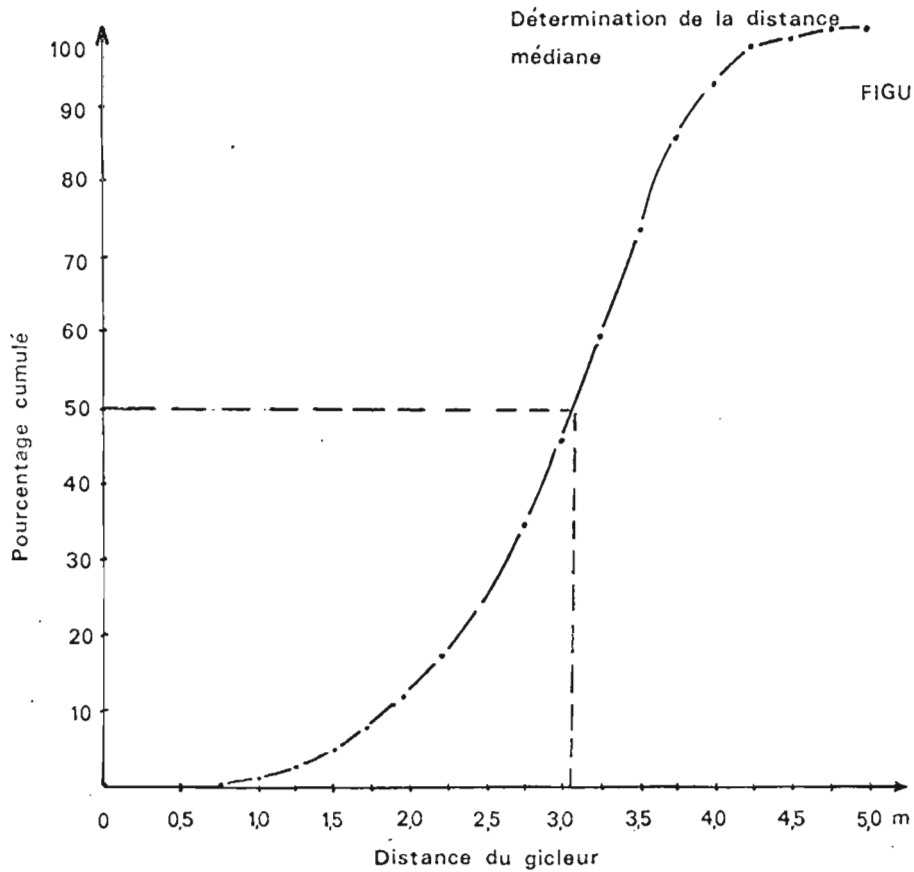


FIGURE A



Détermination de la distance médiane

FIGURE B

4) Vitesses limites

Nous n'avons pas tenu compte jusqu'ici de la résistance de l'air. Soit $\phi(v)$ cette force :

$$\phi(v) = k.s.v^2$$

avec k coefficient dépendant de la forme du projectile, s sa section et v sa vitesse. Lorsque cette résistance atteint la même valeur numérique que son poids, l'accélération devient nulle et sa vitesse reste constante. C'est sa vitesse limite dans l'air. v_1 :

$$k.s.v_1^2 = mg$$

$$\text{d'où } v_1^2 = mg/k.s$$

avec $k = \frac{C\rho}{2}$ $\rho =$ masse spécifique de l'air. $\rho = 0,0012$
 $C = 0,45$ pour les sphères ; on assimilera les gouttes à des sphères de rayon R

ainsi :

$$v_1 = \sqrt{2m g / s.C.\rho}$$

Pour une sphère de densité = 1 :

$$m = \frac{4}{3} \pi R^3$$

$$\text{et } s = \pi R^2$$

d'où finalement :

$$v_1 = \left(\frac{2 \cdot R \cdot 4 \cdot g}{3 \cdot C \cdot \rho} \right)^{0.5}$$

$$v_1 = 220.1 (R)^{0.5}$$

Ainsi peut-on calculer la vitesse limite correspondant à chaque classe granulométrique de diamètre de goutte : (nous avons considéré qu'aucune goutte ne dépasse 6 mm de diamètre ; cf. HUDSON, 1973).

Tableau N° 5 : Vitesses limites dans l'air.

| | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Classe de tamis (μ) | 0 | 200 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 2000 | 3150 | 4000 |
| | 200 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 2000 | 3150 | 4000 | 5000 |
| Rayon moyen des gouttes (μ) | 49 | 124 | 173 | 218 | 275 | 350 | 442 | 745 | 1293 | 1807 | 2285 |
| Vitesse limite dans l'air (m/s) | 1,54 | 2,45 | 2,89 | 3,25 | 3,65 | 4,12 | 4,62 | 6,01 | 7,91 | 9,36 | 10,52 |

5) Vitesse d'impact au sol

Calculons pour chaque intensité, les vitesses d'impact au sol, sans tenir compte des vitesses limites, et donc de la résistance de l'air. On applique la formule (1) du paragraphe II.5.3.1., a

Tableau n°6 : Intensités et vitesses d'impact au sol sous infiltromètre.

| Intensités (mm/h) | Vitesses radiales (m/s) | Vitesses tangentiels (m/s) | Vitesses d'impact au sol (m/s) |
|----------------------|-------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| 37 | 3,67 | 0,83 | 9,10 |
| 45 | 3,67 | 0,70 | 9,09 |
| 60 | 3,67 | 0,53 | 9,08 |
| 90 | 3,67 | 0,36 | 9,07 |
| 120 | 3,67 | 0,28 | 9,07 |
| 140 | 3,67 | 0,23 | 9,07 |

Notons que seules les gouttes dont le rayon dépasse 1,3 mm atteignent le sol avec une vitesse égale à la vitesse calculée. Pour les gouttes plus petites, la vitesse d'impact est égale à la vitesse limite correspondant à leur rayon (cf. tableau N°7).

Tableau N° 7 : Vitesses d'impact au sol (m/s) en fonction des intensités et des tailles de gouttes sous infiltromètre.

| Rayon des gouttes(μ) | Intensités (mm/h) | | | | | | V_s sous pluies naturelles |
|-------------------------------|----------------------|------|------|------|------|------|------------------------------------|
| | 37 | 45 | 60 | 90 | 120 | 140 | |
| 49 | 1,54 | 1,54 | 1,54 | 1,54 | 1,54 | 1,54 | 0,25 |
| 124 | 2,45- | 2,45 | 2,45 | 2,45 | 2,45 | 2,45 | 0,72 |
| 173 | 2,89 | 2,89 | 2,89 | 2,89 | 2,89 | 2,89 | 0,98 |
| 218 | 2,75 | 2,75 | 2,75 | 2,75 | 2,75 | 2,75 | 1,60 |
| 275 | 3,65 | 3,65 | 3,65 | 3,65 | 3,65 | 3,65 | 2,80 |
| 350 | 4,12 | 4,12 | 4,12 | 4,12 | 4,12 | 4,12 | 3,30 |
| 442 | 4,62 | 4,62 | 4,62 | 4,62 | 4,62 | 4,62 | 4,10 |
| 745 | 6,01 | 6,01 | 6,01 | 6,01 | 6,01 | 6,01 | 5,40 |
| 1293 | 7,91 | 7,91 | 7,91 | 7,91 | 7,91 | 7,91 | 7,47 |
| 1807 | 9,10 | 9,09 | 9,08 | 9,07 | 9,07 | 9,07 | 8,59 |
| 2285 | 9,10 | 9,09 | 9,08 | 9,07 | 9,07 | 9,07 | 9,14 |
| 2805 | 9,10 | 9,09 | 9,08 | 9,07 | 9,07 | 9,07 | 9,22 |

b) Simulateur de pluies

1) Présentation du problème

Nous adopterons le même plan d'étude que pour l'infiltromètre. Il est à noter toutefois l'apparition de certaines différences :

- la vitesse tangentielle V_t correspond ici à la vitesse de rotation des bras du simulateur. Or, les gicleurs sont disposés sur 5 cercles concentriques et animés de mouvements à vitesses circulaires uniformes différentes.

- la vitesse radiale n'est pas constante quelle que soit l'intensité. En effet, elle dépend de la pression ; or, celle-ci, pour le simulateur de pluies varie pour chaque intensité. De plus, le nombre de gicleurs ouverts, et leur divers réglages sont fonction également de l'intensité.

Un nombre important de facteurs interviennent par conséquent dans le calcul des vitesses d'impact : pression ; nombre de gicleurs ouverts et leurs réglages, leur vitesse de rotation (dépendant de leur position) et la taille des gouttes.

2) Vitesses tangentielles V_t

La vitesse de rotation des bras est constante $\omega = 8 \pi/60$ (4 tours par minute). A chaque cercle de gicleurs (de rayon R) correspond une vitesse $V_t = \omega R$

Tableau N° 8 : vitesses tangentielles (m/s) sous le simulateur de pluies.

| | | | | | |
|----------------|------|-------|------|------|------|
| R (m) | 2,00 | 3,500 | 5,00 | 6,50 | 8,00 |
| V_t (m/s) | 0,84 | 1,47 | 2,09 | 2,72 | 3,35 |

3) Vitesses radiales V_o

La vitesse radiale dépend de la pression et du réglage des gicleurs (nombre de tours d'ouverture). Dans chaque cas, ces vitesses ont été déterminées par la méthode exposée au paragraphe II.5.3.1.c, en prenant pour point N, celui où la densité d'impact paraissait la plus forte.

Pour les réglages "2" et "3", les résultats ont été obtenus par extrapolation linéaire, à partir des vitesses calculées pour les réglages "4" et "5"

Tableau N° 9 : vitesses radiales (m/s) sous le simulateur de pluies.

| Pressions (g/cm ²) | réglages des gicleurs | | | |
|--------------------------------|-----------------------|------|------|------|
| | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 250 | 3,76 | 3,97 | 4,17 | 4,38 |
| 360 | 5,17 | 5,59 | 6,00 | 6,42 |
| 450 | 5,79 | 6,16 | 6,52 | 6,89 |

4) Vitesse d'impact au sol

Nous calculons la vitesse d'impact au sol grâce à la formule (1) du paragraphe II.5.3.1.a, sans tenir compte, en un premier temps de la résistance de l'air.

Ces vitesses dépendant de la position des gicleurs et de leur réglage, nous donnons, pour chaque intensité, la moyenne pondérée pour l'ensemble de la surface arrosée : tableau N°10.

Tableau N° 10 : Vitesses d'impact au sol sous diverses intensités de pluies simulées (type Swanson)

| Intensité (mm/h) | Pression (g/cm ²) | Distance du gicleur à l'axe de rotation (m) | | | | | | | | | | | | | | | V _S (m/s) | | | |
|------------------|-------------------------------|---|---|----------------|-----|---|----------------|-----|---|----------------|-----|---|----------------|---|----|----------------|----------------------|---|-------|------|
| | | 2,0 | | | 3,5 | | | 5,0 | | | 6,5 | | | 8 | | | | | | |
| | | o | n | V _S | o | n | V _S | o | n | V _S | o | n | V _S | o | n | V _S | | | | |
| 30 | 250 | 2 | 1 | 9,14 | 2 | 2 | 9,22 | 2 | 3 | 9,34 | 2 | 3 | 9,50 | 2 | 5 | 9,70 | 5 | 1 | 9,75 | 9,5 |
| 45 | 450 | 2 | 1 | 10,14 | 2 | 2 | 10,21 | 2 | 3 | 10,32 | 2 | 3 | 10,47 | 2 | 5 | 10,65 | 5 | 1 | 11,28 | 10,5 |
| 60 | 360 | 2 | 1 | 9,80 | 5 | 2 | 10,59 | 4 | 3 | 10,44 | 3 | 4 | 10,36 | 5 | 5 | 11,00 | | | | 10,6 |
| 90 | 250 | 5 | 2 | 9,41 | 5 | 4 | 9,49 | 4 | 6 | 9,51 | 3 | 8 | 9,67 | 5 | 10 | 9,95 | | | | 9,7 |
| 120 | 450 | 5 | 2 | 10,81 | 5 | 4 | 10,88 | 4 | 6 | 10,75 | 3 | 8 | 10,68 | 5 | 10 | 11,29 | | | | 10,9 |

V_S m/s : moyenne pondérée des vitesses d'impact au sol sous les différents gicleurs.

o nombre de tours d'ouverture : réglage du gicleur

n nombre de gicleurs.

Les vitesses limites sont atteintes pour toutes les gouttes dont le rayon est inférieur à 2,3 mm ($V_l < V_s$ calculée). Pour les gouttes plus grosses, les vitesses calculées ont été retenues (cf. tableau N° 10).

5) Comparaison avec les pluies naturelles

Nous avons porté dans la dernière colonne des tableaux N°s 7 et 11 les vitesses d'impact relevées sous pluies naturelles (GUNN et KINZER 1949 ; LAWS 1949) cités par WISCHMEIER et SMITH (1958). Pour les gouttes de faibles et très faibles diamètres, les valeurs empiriques obtenues par les auteurs anglo-saxons sont très nettement inférieures aux vitesses limites calculées pour les deux appareils de Côte d'Ivoire. Cette différence trouve probablement son explication dans l'influence du vent sur les fines gouttelettes. Pour les gouttes de plus fort diamètre, les seules à intervenir effectivement sur l'énergie cinétique (cf. paragraphe suivant), les vitesses obtenues expérimentalement sous pluies naturelles et celles calculées sous infiltromètres et sous simulateur sont du même ordre : écarts de 1 à 5% pour l'infiltromètre, de 3 à 16% pour le simulateur (cf. figure N° 11). Notons que ces deux vitesses, pour les deux appareils sont nettement plus proches que celles observées sous l'infiltromètre de BERTRAND et PAAR (1960) (de l'ordre de 5 m/s).

Tableau N° 11 : Vitesses d'impact au sol (m/s) en fonction des intensités et des tailles de gouttes, sous simulateur de pluies.

| Rayon des gouttes | Intensités (mm/h) | | | | | V _s sous pluies naturelles |
|-------------------|-------------------|-------|-------|------|-------|---------------------------------------|
| | 30 | 45 | 60 | 90 | 120 | |
| 49 | 1,54 | 1,54 | 1,54 | 1,54 | 1,54 | 0,25 |
| 124 | 2,45 | 2,45 | 2,45 | 2,45 | 2,45 | 0,72 |
| 173 | 2,89 | 2,89 | 2,89 | 2,89 | 2,89 | 0,98 |
| 218 | 3,25 | 3,25 | 3,25 | 3,25 | 3,25 | 1,60 |
| 275 | 3,65 | 3,65 | 3,65 | 3,65 | 3,65 | 2,80 |
| 350 | 4,12 | 4,12 | 4,12 | 4,12 | 4,12 | 3,30 |
| 442 | 4,62 | 4,62 | 4,62 | 4,62 | 4,62 | 4,10 |
| 745 | 6,01 | 6,01 | 6,01 | 6,01 | 6,01 | 5,40 |
| 1293 | 7,91 | 7,91 | 7,91 | 7,91 | 7,91 | 7,47 |
| 1807 | 9,36 | 9,36 | 9,36 | 9,36 | 9,36 | 8,59 |
| 2285 | 9,50 | 10,50 | 10,52 | 9,69 | 10,52 | 9,14 |
| 2805 | 9,50 | 10,50 | 10,58 | 9,69 | 10,93 | 9,22 |

II.5.4. Energie cinétique.

a) Calculs et résultats :

Connaissant les diamètres des gouttes et leurs vitesses d'impact au sol, il est aisé d'en déduire l'énergie cinétique ($E_c \text{ (J)} = 1/2 m \text{ (kg)} \cdot V^2 \text{ (m}^2/\text{s}^2)$).

Pour obtenir l'énergie cinétique fournie par 1 mm de pluie par m^2 , nous avons cumulé les énergies cinétiques de chaque classe granulométrique de gouttes.

Les résultats sont présentés aux tableaux N°s 12 et 13. Pour l'infiltromètre, comme pour le simulateur, ce sont les gouttes dont le diamètre dépasse 1 mm qui participent le plus à la formation de l'énergie cinétique (60 à 85% de l'énergie cinétique totale).

Notons l'intérêt de tenir compte de la taille des gouttes dans l'évaluation de l'énergie cinétique. Si nous avons supposé que toutes les gouttes atteignaient le sol avec la même vitesse, nous aurions eu, pour une intensité de 140 mm/h :

$E_c = 41,13 \text{ J/m}^2/\text{mm}$ au lieu de $26,23 \text{ J/m}^2/\text{mm}$ et pendant une heure :

$E_c = 5758 \text{ J/m}^2/\text{h}$ au lieu de $3671 \text{ J/m}^2/\text{h}$ soit une erreur d'environ 60% par excès !

Les résultats présentés ici sont obtenus cependant avec une incertitude : la vitesse radiale a été minorée cf. paragraphe II.5.3.1.c, Mais l'introduction d'une erreur à ce niveau de calcul ne se manifeste que pour les gouttes dont le diamètre excède 3 mm (en-dessous les vitesses d'impact v_s sont égales aux vitesses limites). MEYER (1958) n'a pas tenu compte non plus de cette légère sous estimation. Nous considérons, par conséquent, que les résultats donnent une précision suffisante pour être comparée aux énergies cinétiques sous pluies naturelles.

Tableau N° 12 : Classes granulométriques, intensités de pluies et énergies cinétiques sous infiltromètre.

| Classes de diamètres (mm) | Pourcentage en masse (%) | | | | | | Energie cinétique (Joules/mm de pluie/m ²) | | | | | |
|--|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|--------|--------|--------|--------|
| | 37 | 45 | 60 | 90 | 120 | 140 | 37 | 45 | 60 | 90 | 120 | 140 |
| 0. 200 - 0.3150 | 8,51 | 7,07 | 2,13 | 3,58 | 2,58 | 1,70 | 0,255 | 0,212 | 0,063 | 0,107 | 0,077 | 0,051 |
| 0.3150 - 0.400 | 6,38 | 5,05 | 1,83 | 2,63 | 2,06 | 1,51 | 0,266 | 0,211 | 0,076 | 0,110 | 0,086 | 0,063 |
| 0.400 - 0.500 | 6,38 | 5,05 | 1,83 | 3,10 | 2,06 | 1,89 | 0,425 | 0,336 | 0,122 | 0,206 | 0,137 | 0,126 |
| 0.500 - 0.630 | 10,64 | 5,05 | 2,74 | 4,77 | 1,55 | 2,83 | 0,708 | 0,336 | 0,183 | 0,318 | 1,032 | 0,184 |
| 0.630 - 0.800 | 10,64 | 6,06 | 5,41 | 5,97 | 3,09 | 5,09 | 0,903 | 0,514 | 0,466 | 0,507 | 0,262 | 0,432 |
| 0.800 - 1.000 | 8,51 | 8,08 | 4,57 | 4,06 | 23,71 | 3,96 | 0,908 | 0,862 | 0,488 | 0,433 | 2,530 | 0,422 |
| 1.000 - 2.000 | 35,11 | 37,37 | 28,05 | 32,32 | 17,01 | 24,34 | 6,341 | 6,749 | 5,066 | 5,837 | 3,072 | 4,396 |
| 2.000 - 3.180 | 9,57 | 23,23 | 42,38 | 30,79 | 32,47 | 34,53 | 2,993 | 7,267 | 13,258 | 9,632 | 10,158 | 11,043 |
| 3.150 - 4.000 | 1,06 | 3,03 | 7,62 | 7,88 | 15,46 | 18,30 | 0,439 | 1,252 | 3,141 | 3,241 | 6,359 | 7,257 |
| 4.000 - 5.000 | 3,19 | 0,00 | 3,35 | 5,01 | 0,00 | 5,85 | 1,321 | - | 1,381 | 2,061 | - | 2,406 |
| Energie cinétique par mm de pluie (J/mm/m ²) | | | | | | | 14,6 | 17,5 | 24,2 | 22,5 | 23,7 | 26,2 |
| Energie cinétique par heure (J/h/m ²) | | | | | | | 538,8 | 786,1 | 1454,6 | 2020,7 | 2845,6 | 3671,6 |

Tableau N° 13 : Classes granulométriques, intensités de pluies et énergies cinétiques sous simulateur de pluies.

| Classes de diamètres (mm) | Pourcentage en masse (%) | | | | | Energie cinétique (Joules/mm de pluie m ²) | | | | |
|---|----------------------------|-------|-------|-------|-------|--|--------|--------|-------|-------|
| | 30 | 45 | 60 | 90 | 120 | 30 | 45 | 60 | 90 | 120 |
| 0.200 - 0.315 | 2,63 | 3,31 | 0,50 | 1,04 | 3,32 | 0,079 | 0,099 | 0,015 | 0,031 | 0,100 |
| 0.315 - 0.400 | 0,68 | 1,21 | 0,30 | 0,62 | 1,66 | 0,028 | 0,051 | 0,013 | 0,026 | 0,069 |
| 0.400 - 0.500 | 0,60 | 0,71 | 0,30 | 0,83 | 1,99 | 0,032 | 0,048 | 0,016 | 0,044 | 0,105 |
| 0.500 - 0.630 | 0,64 | 1,37 | 0,40 | 1,66 | 2,65 | 0,043 | 0,071 | 0,027 | 0,111 | 0,127 |
| 0.630 - 0.800 | 0,73 | 1,26 | 0,30 | 2,28 | 3,98 | 0,079 | 0,107 | 0,025 | 0,194 | 0,338 |
| 0.800 - 1.000 | 0,93 | 1,40 | 0,90 | 3,52 | 5,31 | 0,077 | 0,149 | 0,076 | 0,376 | 0,567 |
| 1.000 - 2.000 | 7,56 | 11,26 | 15,20 | 25,26 | 30,23 | 1,365 | 2,034 | 2,745 | 4,562 | 5,460 |
| 2.000 - 3.150 | 9,75 | 11,96 | 22,60 | 24,22 | 22,25 | 3,050 | 3,742 | 7,070 | 7,577 | 6,961 |
| 3.150 - 4.000 | 22,78 | 24,98 | 18,20 | 17,89 | 14,95 | 9,979 | 10,636 | 7,972 | 7,802 | 6,549 |
| 4.000 - 5.000 | 19,06 | 14,20 | 28,10 | 14,91 | 8,63 | 8,601 | 7,828 | 16,549 | 7,000 | 4,775 |
| 5.000 et plus | 34,39 | 28,78 | 13,10 | 7,87 | 4,98 | 15,518 | 15,865 | 7,332 | 3,695 | 2,975 |
| Energie cinétique par mm de pluie (J/mm/m ²) | | | | | | 36,1 | 40,7 | 40,9 | 31,4 | 32,4 |
| Energie cinétique cumulée sur une heure (J/h/m ²) | | | | | | 1083 | 1628 | 2464 | 2826 | 3888 |

b) Comparaison avec les pluies naturelles :

De nombreux auteurs ont essayé d'évaluer l'énergie cinétique développé sous pluies naturelles. Aucun n'a utilisé de procédé direct. Tous ont dû passer au préalable par la détermination de la taille des gouttes et une évaluation des vitesses d'impact (mesures directes ou calcul des vitesses limites). Or la taille médiane des gouttes, pour une intensité donnée subit d'importantes variations suivant la durée de la pluie (pluies d'orages ou normales). KELKAR (1960) distingue ainsi les pluies communes des pluies courtes et violentes. D'après HUDSON (1963) les variations sont plus fortes sous faibles intensités que sous les grandes (à partir de 75 mm/h). Mais il reconnaît que le nombre d'échantillons dans ce cas est de toute façon toujours plus limité (faible fréquence des fortes intensités).

HUDSON (1973) donne un graphique portant les résultats de divers auteurs. Nous y avons reporté les courbes relatives aux deux appareils de Côte d'Ivoire (cf. figure N° 10). Cette courbe recoupe assez bien, pour l'infiltromètre, celle obtenue par KER (1954) à Trinidad, à partir de 60 mm/h. La comparaison avec les pluies naturelles est mauvaise pour le simulateur, aux basses intensités (30, 45 et 60 mm/h). A 90 mm/h l'énergie cinétique des pluies simulées est voisine de celle mesurées par HUDSON en Rhodésie sous les pluies naturelles de même intensité, mais s'en écarte de nouveau à 120 mm/h.

Parmi les différences observées par les divers auteurs (figure N° 10), il est impossible de discerner la part des climats sous lesquels ces travaux ont été menés, de celle des diverses méthodes employées.

Il semble possible toutefois de constater que les énergies cinétiques observées sous l'infiltromètres sont sensiblement du même ordre que celles trouvées sous pluies naturelles. Les méthodes photographiques utilisées par LAWS (1949) donnent des vitesses d'impact voisines de celles calculées sous l'infiltromètre.

Une expérimentation vient d'être mise en place à Adiopodoumé (Basse Côte d'Ivoire) pour déterminer l'énergie des gouttes de pluies de la région d'Abidjan. Le nombre, actuellement trop restreint d'échantillons interdit d'en tirer, pour le moment, des conclusions hâtives. Il semblerait cependant que l'on obtienne des résultats assez proches de ceux trouvés par HUDSON (1973) en Rhodésie.

Le tableau N°14 présente la comparaison des résultats d'HUDSON (1973) sous pluies naturelles et ceux obtenus, en Côte d'Ivoire sous pluies simulées.

Tableau N°14 : Comparaison des énergies cinétiques des pluies naturelles et des pluies simulées.

| Intensités (mm/h) | 30 | 37 | 45 | 60 | 90 | 120 | 140 |
|-------------------------------|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Ec simulée/ Ec naturelle : | | | | | | | |
| % | | | | | | | |
| Infiltromètre | - | 57 | 66 | 87 | 78 | 82 | 90 |
| Simulateur | 150 | - | 152 | 148 | 109 | 112 | - |

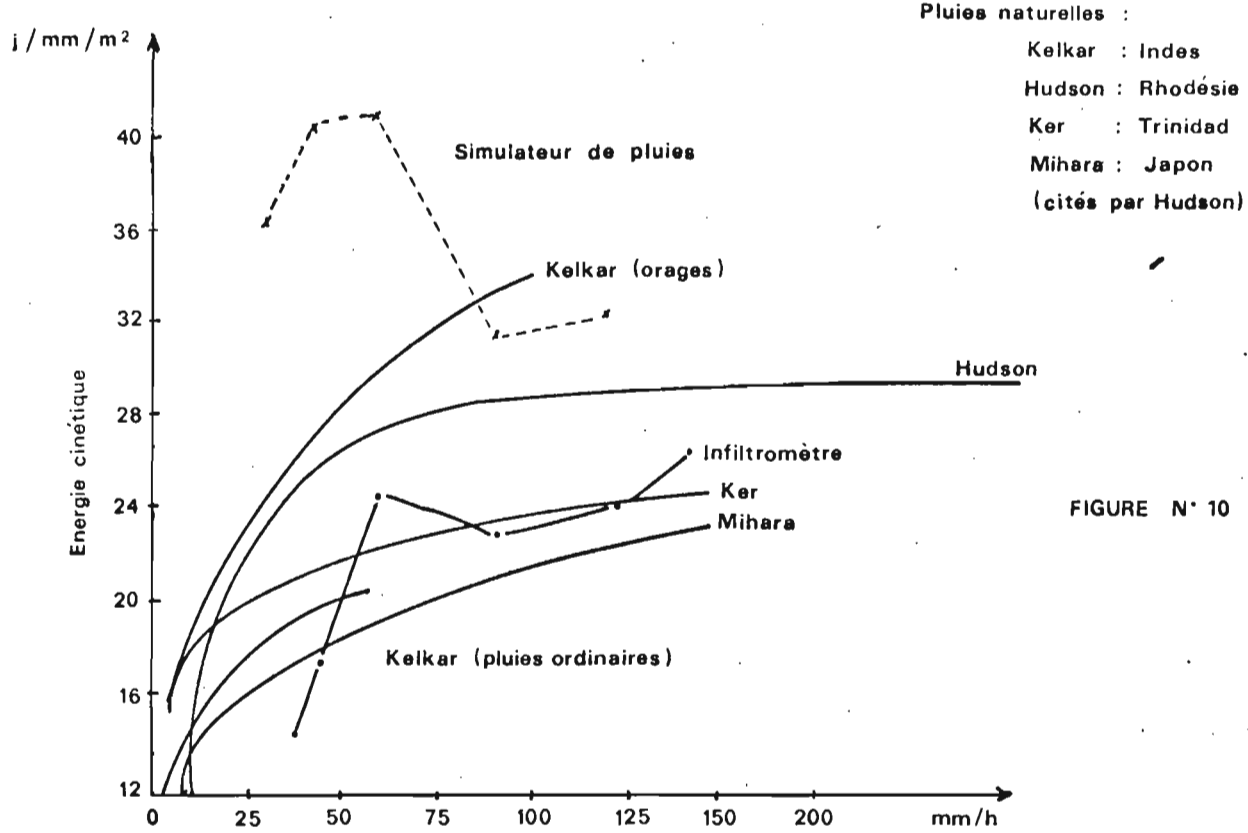


FIGURE N° 10

RELATION ENTRE L'ENERGIE CINETIQUE ET L'INTENSITE DES PLUIES NATURELLES ET SIMULEES

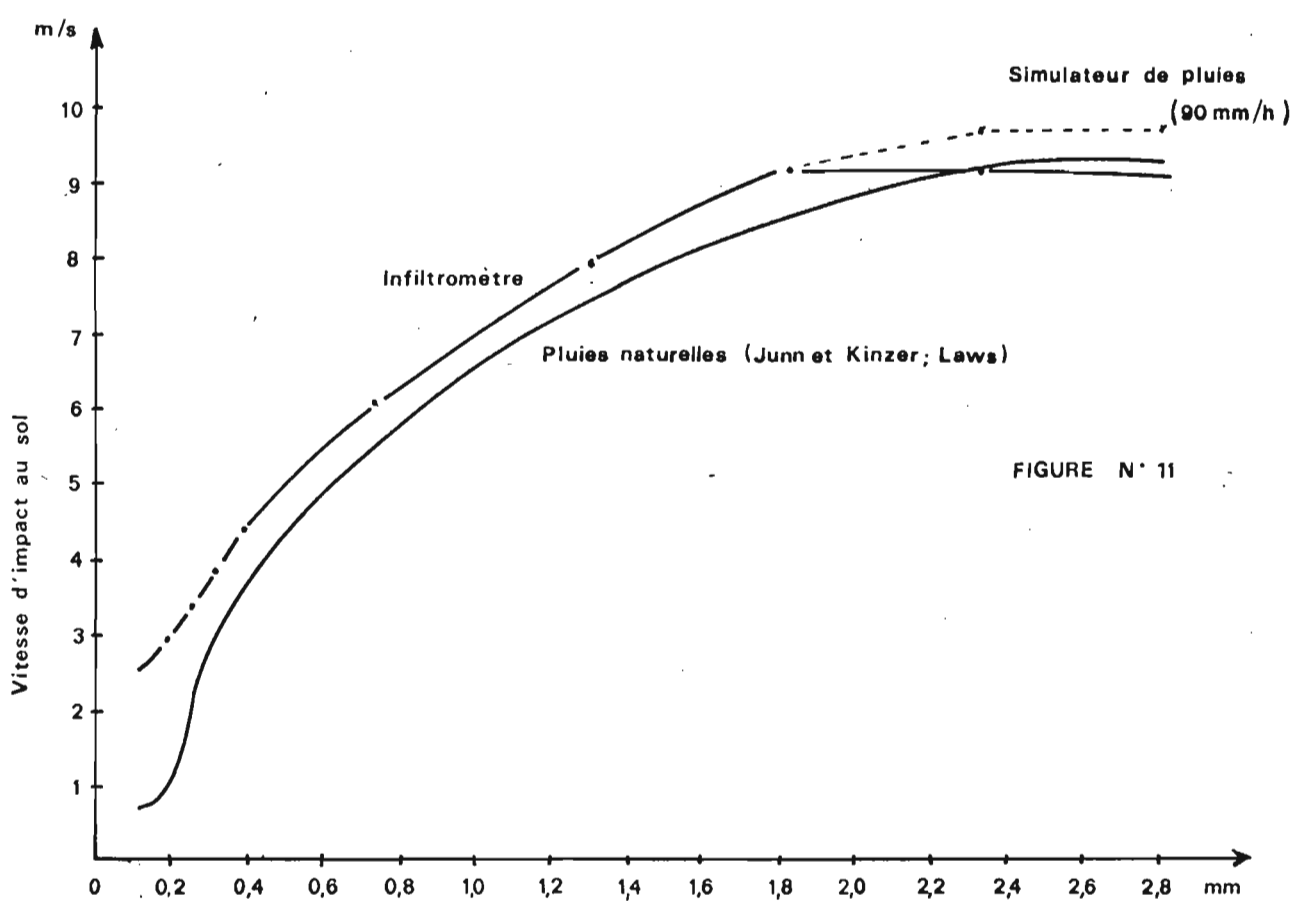


FIGURE N° 11

RELATION ENTRE LES VITESSES D'IMPACT AU SOL ET LE RAYON DES GOUTTES

Ces résultats sont comparables à ceux obtenus par MEYER (1958) pour son "Rainulator" : $E_{cs}/E_{cn} = 77\%$ à 50 mm/h. Les deux appareils réalisent de meilleures performances que l'infiltromètre de BERTRAND et PAAR (1960) : $E_{cs}/E_{cn} < 50\%$.

Pour les deux appareils, les écarts avec les pluies naturelles sont importants aux basses intensités. Rappelons néanmoins que ces résultats se rapportent à ceux d'HUDSON (1973). Les valeurs obtenues par d'autres auteurs (figures N°s 10 et 11) semblent indiquer que l'infiltromètre simule des pluies dont l'énergie se situe davantage dans la gamme des pluies naturelles que le simulateur.

II.6. Conclusion.

Les différentes études méthodologiques permettent une meilleure connaissance des outils de travail et notamment de leurs limites, et facilitent ainsi la détermination des programmes de recherches.

Nous verrons par la suite que la simulation de pluies peut-être utilisées pour répondre à des objectifs variés (caractérisation hydrodynamique des sols, étude fine des phénomènes d'érosion...) mais que chaque appareil correspond à une série d'objectifs et de contraintes bien précis.

Les études expérimentales "in situ" nécessitent d'abord une étude approfondie du milieu naturel. L'étude de l'évolution des sols ne peut donc pas se passer de travaux préalables de cartographie en vue de déterminer les sites expérimentaux "représentatifs". Dans le cas contraire, toute tentative d'extrapolation des résultats s'avèrerait vaine. C'est pourquoi, il nous semble nécessaire de consacrer plusieurs chapitres concernant la répartition des sols, introductifs aux études expérimentales proprement dites.

LE DOMAINE DU SOCLE PRECAMBRIEN

Deuxième Partie

ÉTUDE DE QUELQUES SOLS FERRALLITIQUES DE CÔTE D'IVOIRE

En vue de simplifier l'étude du milieu naturel, nous distinguerons les sols d'après leur substrat géologique : roches du socle précambrien, et sables sédimentaires tertiaires.

Cette division n'est pas uniquement d'ordre pétrographique : elle correspond également à deux étapes de mise en valeur. Les sols sur roches précambriennes couvrent presque l'ensemble de la Côte d'Ivoire, ils sont variés et se trouvent sous des climats différents. Les projets d'aménagements agricoles abondent et il est urgent de cartographier les sols afin de déterminer les aptitudes des futures régions agricoles (travaux de cartographie pédologique du Nord et du Sud-Ouest du pays). Ils appartiennent pour la plupart au domaine de la prospection et de l'expérimentation.

Les sols issus des sables tertiaires (Continental Terminal) se localisent sur une bande côtière couvrant 30 km sur sa plus grande largeur et 400 km sur sa longueur. Bien que peu importants par leur surface, ils présentent un grand intérêt économique : Abidjan, situé sensiblement au centre de cette région sédimentaire, a favorisé le développement de très nombreuses plantations de type industriel (palmier à huile, hévéa, bananier, ananas, etc...). Les sols y sont beaucoup moins variés que sur le socle cristallin et ont été prospectés depuis longtemps (DABIN, LENEUF, PERRAUD, de la SOUCHERE de 1955 à 1963 ; HUMBEL, ROOSE et CHEROUX de 1963 à 1965). Pour le pédologue, il ne s'agit donc plus de découvrir des sols aptes à la mise en valeur, mais de répondre à certaines questions posées par diverses cultures, puisque ces sols sont, pour la plupart en exploitation.

LE DOMAINE DU SOCLE PRECAMBRIEN

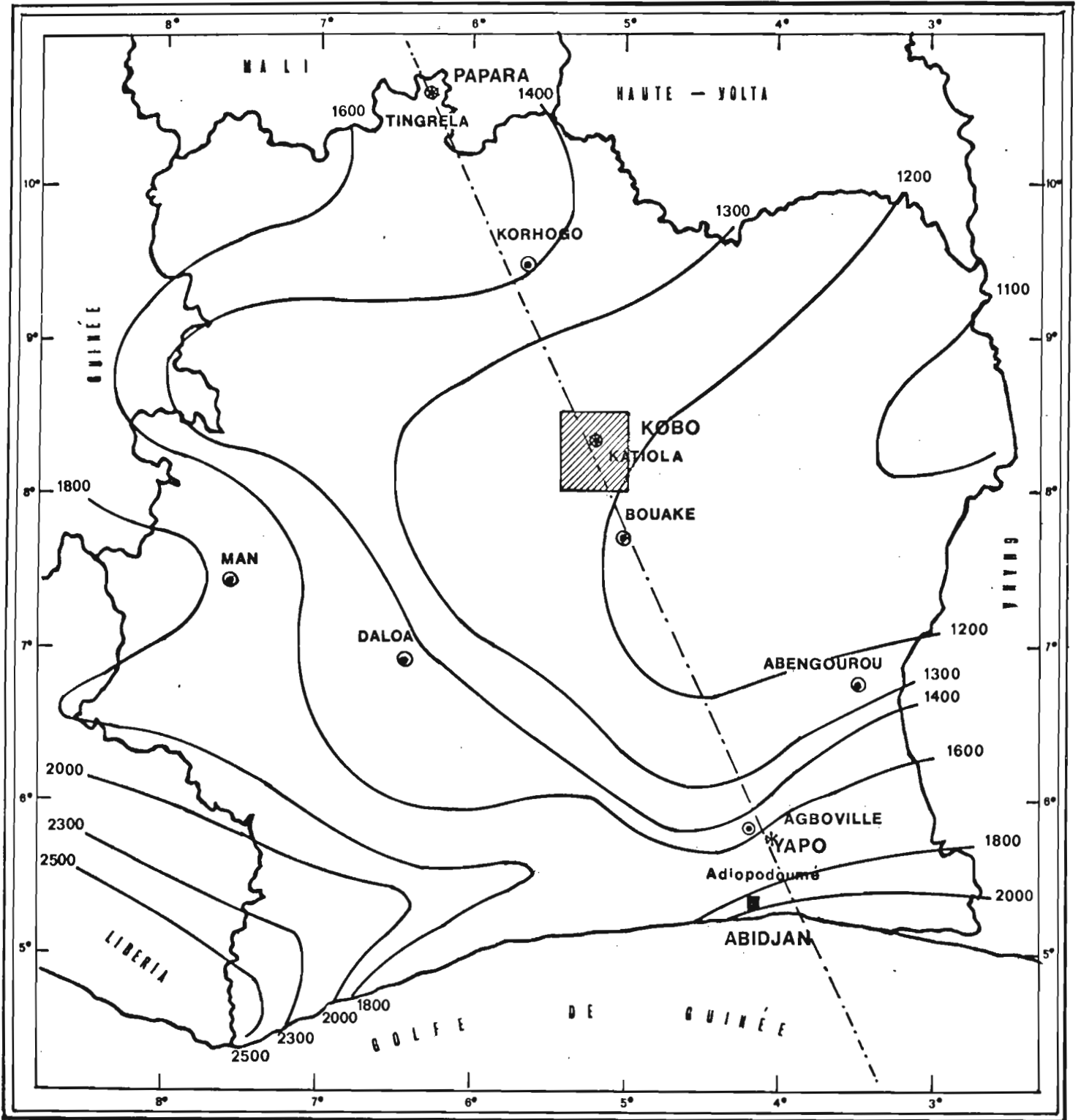
CHAPITRE I : APPROCHES DESCRIPTIVES :




ÉTUDE DES FACTEURS CLIMATIQUES ET GÉOLOGIQUES SUR LA FORMATION DES SOLS ET DES MODÈLES DE QUELQUES TOPOSEQUENCES.

Le gouvernement ivoirien a pris la décision de rééquilibrer les différentes régions de Côte d'Ivoire (plan 1976-1980). Dans cette optique de grands travaux sont en cours dans le Sud-Ouest et le Nord du pays (constructions de barrages, de périmètres sucriers, etc...).

Une importante convention a été signée entre le service de Pédologie de l'O.R.S.T.O.M. et le B.N.E.T.D. (Bureau National d'Etudes Techniques de Développement) en vue d'assurer la couverture cartographique au 1/200 000^e des sols situés au Nord du 8° parallèle. Plusieurs cartes ont déjà été publiées, d'autres sont en cours de parution :

CARTE DE SITUATION



-  Isohyète moyenne annuelle (1950-1966)
-  Zone prospectée
-  Toposequences sur schistes décrites

- Odienné (ESCHENBRENNER et BADARELLO ; 1975)
- Boundiali (BEAUDOU et SAYOL ; 1977)
- Korhogo (BEAUDOU et SAYOL ; en cours)
- Niellé, Tienko, Tingrela (LEVEQUE et al. ; en cours)

Pour chaque degré carré(1), deux cartes sont fournies :

- . Carte des paysages morphopédologiques : dressée selon les méthodes d'ESCHENBRENNER et BADARELLO (1975), puis de BEAUDOU et CHATELIN (1977). Cette carte sert de support à la délimitation de régions agricoles homogènes.
- . Carte des segments : les unités de cette carte correspondent à un ou plusieurs segments. Elle permet une connaissance plus précise de la répartition des sols sur les versants.

L'auteur a participé aux travaux de cette convention :

- lors d'un stage d'initiation à la nouvelle méthode cartographique (en compagnie de MM. LEVEQUE et TOISON)
- lors de l'intérim d'un collègue cartographe (M. POSS), à Katiola pendant trois mois. Il eut ainsi l'occasion de prospecter seul, puis en compagnie de M. TOISON, les sols de cette région située au Nord de Rouaké (cf. carte de situation, figure n° 12).

Ces derniers travaux ont demandé l'ouverture de 6 layons de 10 à 30 km de long, à l'intérieur de la réserve du Haut-Bandama, zone déserte et démunie de voies d'accès. Une vingtaine de toposéquences (d'environ 10 fosses chacune) ont été décrites pour une superficie de 2500 km²). Cette densité d'observations (1 profil pour 1250 ha) correspond à une efficacité pédologique $K = 12,5$ (cf. BOULAIN 1966). Il semble que les conditions de réalisation assurent effectivement ce niveau : couverture photographique au 1/50 000°, topographie ondulée, zones forestières réduites, participation aux travaux d'un photo-interpréteur expérimenté (M. SAYOL) etc...

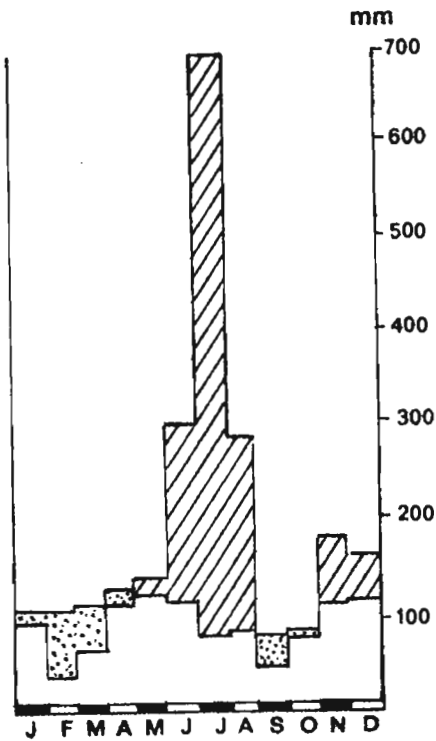
Il a paru intéressant de présenter quelques observations concernant deux composantes du milieu (roches et climat) et leur influence sur la formation du modelé et des sols. En effet, il est parfois difficile de dégager l'importance relative des différents agents de la pédogenèse. Pour isoler le facteur climatique, nous avons étudié trois toposéquences formées à partir de roches semblables mais sous des climats différents. Quant à l'influence de la roche mère sur la formation des sols et des reliefs, nous avons tenté de la mettre en évidence à partir de trois toposéquences représentatives d'une région (Katiola) et donc situées sous le même climat.

I.1. Différenciations climatiques: exemple de trois toposéquences sur schistes.

Afin d'étudier l'action du climat sur la formation du relief et des sols, nous avons choisi de présenter brièvement trois toposéquences dont le substrat est très voisin (schistes) : (cf. carte de situation, figure n° 12) :

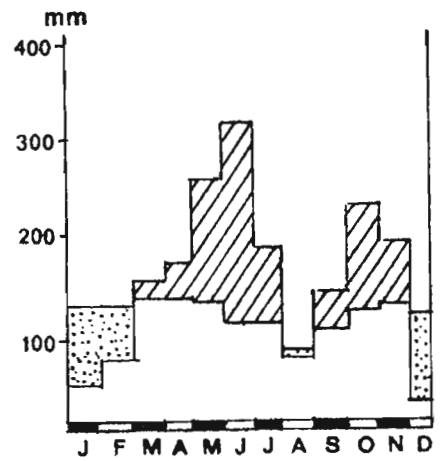
(1) un degré carré est la surface comprise entre 2 méridiens et 2 parallèles.

**PLUVIOMETRIES ET EVAPOTRANSPIRATIONS
POTENTIELLES MENSUELLES DU SUD AU NORD
DE LA CÔTE D'IVOIRE**



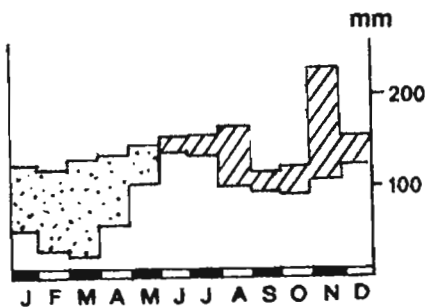
ADIOPODOUMÉ

5° 19 N - 4° 08 W
P. 1947 - 1974
P Total : 2125 mm



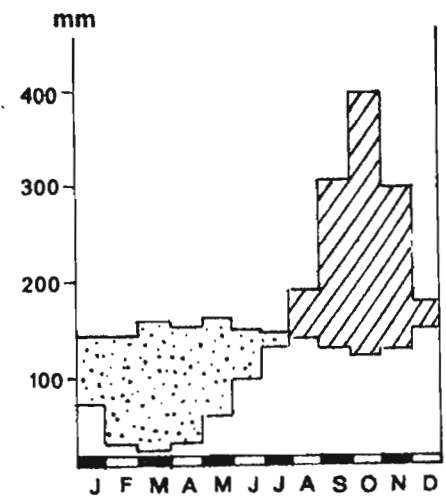
AZAGUIÉ

5° 33 N - 4° 02 W
P. 1961 - 1970
ETP 1966 - 1973
P Total : 1767 mm





BOUAKE

7° 45 N - 5° 02 W
P. 1910 - 1974
P Total : 1199 mm



ODIENNE

9° 35 N - 7° 34 W
P. 1821 - 1974
P Total : 1619 mm

 P - ETP(Turc) > 0
 P - ETP(Turc) < 0

- Yapo : située à une vingtaine de kilomètres au Sud-Est d'Agboville, et une quinzaine de kilomètres au Nord-Ouest d'Azaguié.
- Kobo : représentative des toposéquences sur schistes de la région de Katiola dont elle est distante de 30 kilomètres au Nord-Ouest.
- Papara : représentative des toposéquences sur schistes de la région de Tingrela, située à 25 kilomètres au Nord-Est de cette ville.

I.1.1. Données géologiques :

Yapo et Kobo appartiennent à la même unité cartographique de la carte géologique de Côte d'Ivoire au 1/1 000 000^e de 1965 : schistes du birrimien, faciès flysch.

Papara est située sur les schistes du birrimien des complexes volcano-sédimentaires.

Nous considérerons ces formations comme des roches mères voisines sinon identiques.

I.1.2. Données climatiques :

Nous ne retiendrons, parmi les différents facteurs climatiques, uniquement que ceux liés à l'eau : pluviométrie et évapotranspiration potentielle, considérant qu'ils constituent les agents les plus importants.

La figure n° 13 présente les variations mensuelles relevées sur quatre stations assez proches des toposéquences étudiées : Adiopodoumé, pour les sables tertiaires (cf. "Le Domaine sédimentaire ") Azaguié pour Yapo, Bouaké pour Kobo et Odienné pour Papara. Ces données sont fournies par ELDIN (Atlas de Côte d'Ivoire ; 1968) et par ROOSE et GODFROY (1977). Bouaké et Odienné, ne sont cependant pas des stations très représentatives du climat des toposéquences de Yapo et de Papara. Aussi a-t-on présenté, sur la figure n° 14, les données disponibles sur Katiola (P et E.T.P.-Turc) et Tingrela (P.).

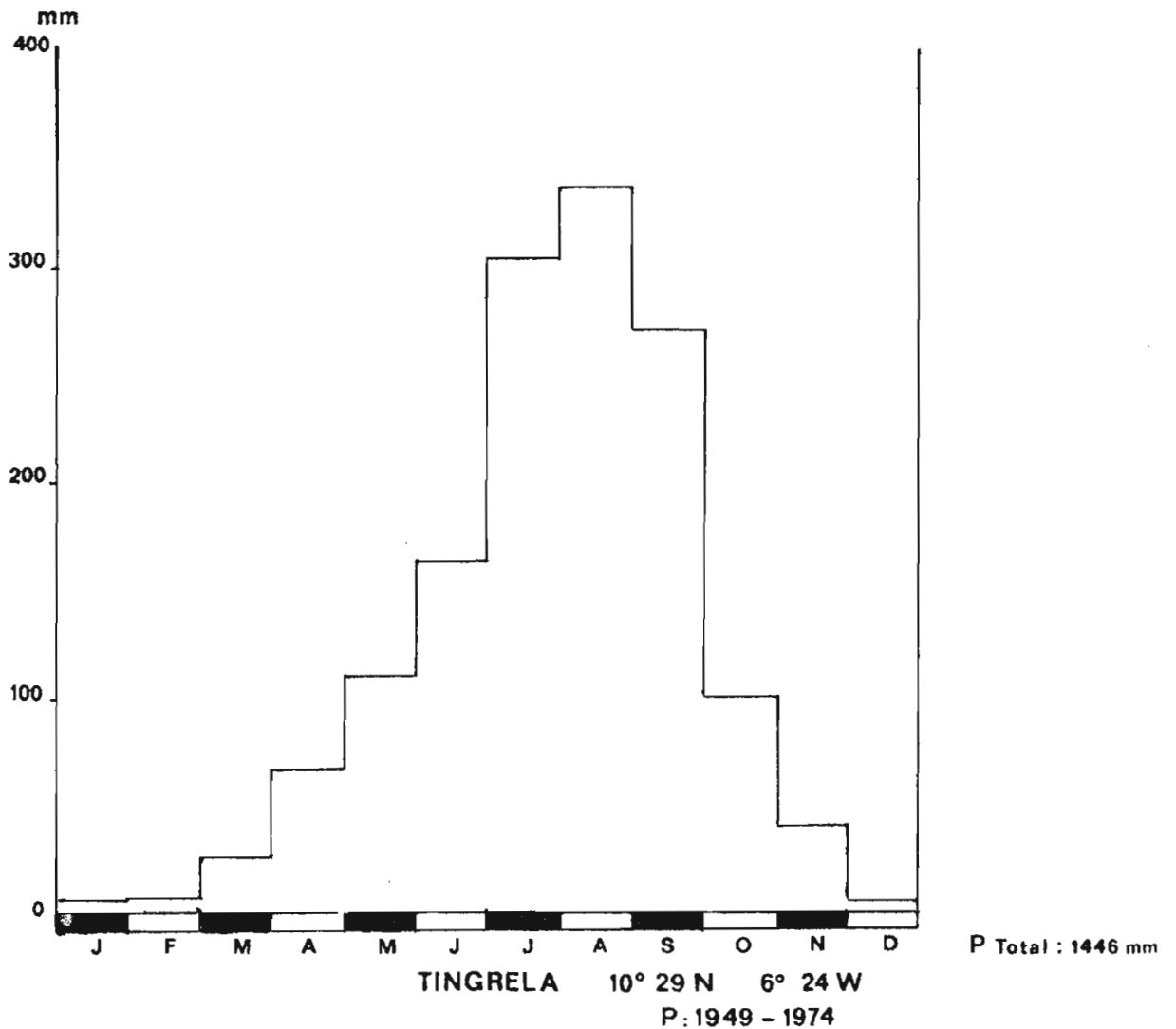
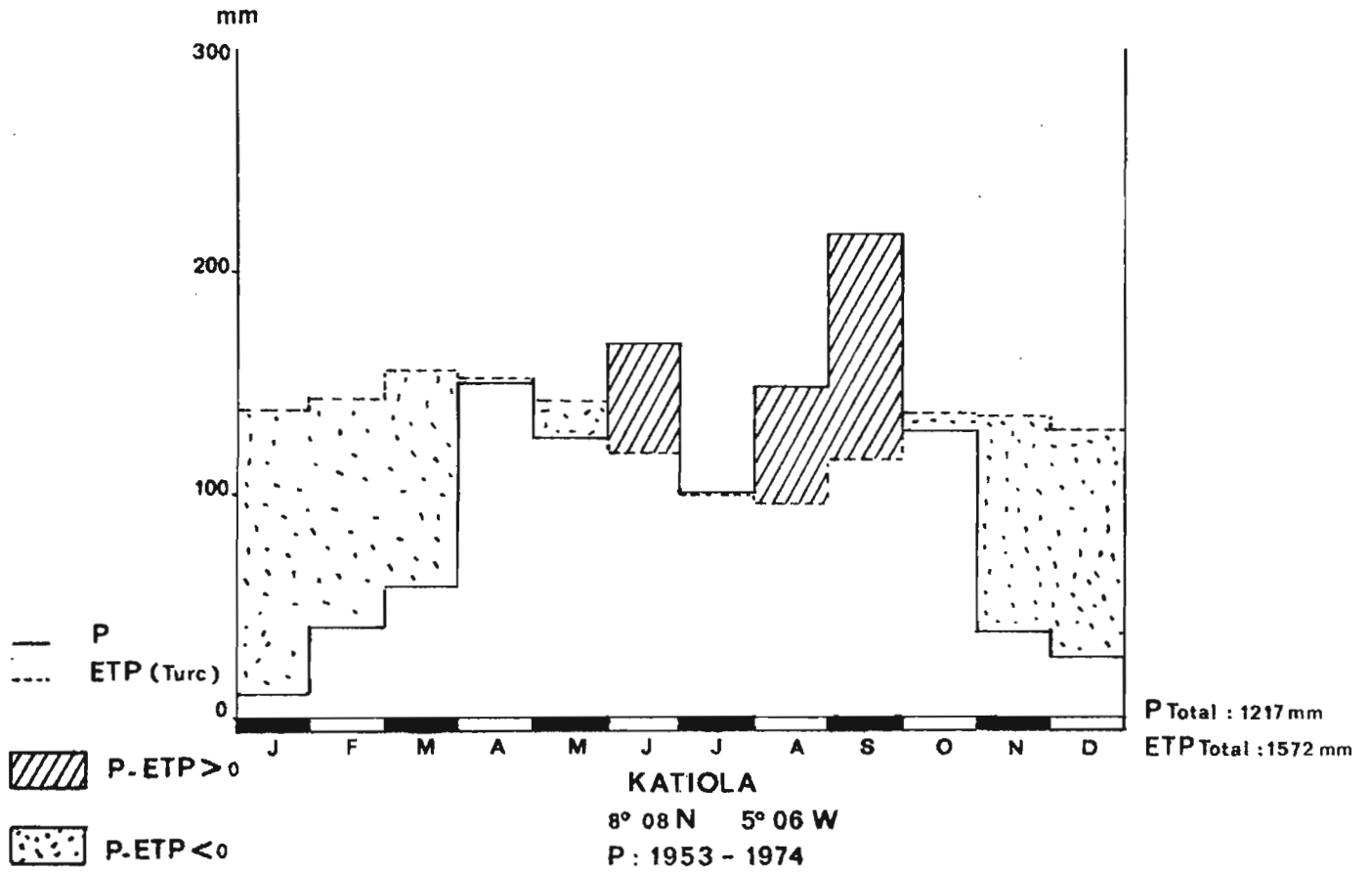
Les variations climatiques saisonnières interviennent vraisemblablement davantage sur les processus morpho et pédogénétiques que les valeurs des moyennes annuelles de P et E.T.P.

Il est facile de distinguer du Sud au Nord de la Côte d'Ivoire d'importantes différences :

- Yapo : il existe deux saisons des pluies (cf. figure n° 13) la plus longue saison sèche ne dure que quatre mois (de décembre à mars), le déficit hydrique (P - E.T.P.) cumulé sur l'année n'est que de 325 mm.
- Kobo : l'année se divise en deux grandes périodes : saison des pluies (avec une pseudo-saison sèche) et une longue saison sèche. Cette dernière dure 6 mois (de novembre à avril). Le déficit hydrique cumulé sur l'année s'élève à 475 mm.
- Papara : les pluies se concentrent de juin à septembre ; il tombe pendant ces quatre mois 1445 mm à Tingrela (cf. fig. n° 14) alors que le déficit hydrique cumulé sur les 8 mois de la longue saison sèche atteint 800 mm (d'après la carte dressée par ELDIN ; Atlas de Côte d'Ivoire, 1968).

FIG : N°14

DIAGRAMMES PLUVIOMETRIQUES DE KATIOLA ET DE TINGRELA



La carte de situation (figure n° 12) indique la position des toposéquences par rapport aux isohyètes moyennes annuelles.

Le substrat géologique et les climats actuels et antérieurs déterminent en grande partie le complexe modelé-sols-végétation. Ayant fixé la variable géologique, il est possible d'étudier rapidement l'action du facteur climatique.

I.1.3. Action sur le modelé :

Les trois toposéquences appartiennent à trois modelés différents :

Yapo : (cf. figure n° 15) : la forme se subdivise en :

- un sommet d'interfluve planconvexe (pente : 4-5%)
- une pente convexo-concave forte (pente : 13-19%)
- un bas de versant concave (pente : 3%).

La distance entre le sommet d'interfluve et le marigot est très courte (500 m) pour une dénivellation de 34 m.

Kobo : (cf. figure n° 16) : cette toposéquence est constituée de :

- un sommet occupé par une butte témoin tabulaire
- une pente forte de raccord (22%)
- un versant rectiligne, de pente faible (1-3,5%)
- un versant convexo-concave de pente moyenne (4-6,5%)
- une pente concave (7%) servant de raccord à
- un flat.

La distance entre le sommet de la butte cuirassée et le marigot est d'environ 1000m, pour une dénivellation de 48 m.

Papara : (cf. figure n° 17) : se succèdent du sommet au marigot :

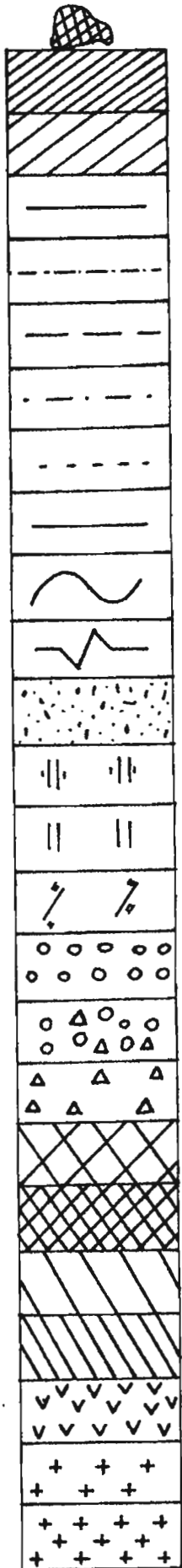
- un plateau témoin cuirassé à limite nette dominant d'une dizaine de mètres :
- un versant rectiligne de faible pente (0,5-2%)
- un versant cuirassé convexe de pente également très faible (0-2,5%) traversé par une collature sensiblement parallèle au marigot.

Deux kilomètres séparent le rebord du plateau au marigot, pour une dénivellation de 34 m.

Ces différences marquées de modelé peuvent être imputées à l'action du paléoclimat et des conditions actuelles, ainsi qu'à la distance à l'océan (niveau de base).

L'altération des schistes donne un matériel argilo-limoneux. La présence d'oxydes de fer limite la plasticité de la kaolinite formée (AVENARD 1962). La limite de liquidité est très souvent supérieure à 30%, (de 28,5% à 46,3% à Yapo), ce qui expliquerait la rareté des phénomènes de solifluxion sur les sols issus de schistes. Par contre, l'action du ruissellement est loin d'être négligeable : l'intensité limite de pluie à partir de laquelle une partie de l'eau se met à ruisseler est faible (cf. p. 52 , dans "Approches expérimentales"). Ce refus à l'infiltration favorise les phénomènes de décapage

LEGENDE DES SCHEMAS DE PROFILS



Débris de Cuirasse

Horizon Humifère

Horizon Dyscrophe

Transition très nette (contact direct)

Transition nette (< 2 cm)

Transition distincte (2 à 5 cm)

Transition graduelle (5 à 12 cm)

Transition diffuse (> 12 cm)

Transition régulière

Transition ondulée

Transition irrégulière

Horizon à texture sableuse ($A + L < 5\%$)

Horizon à pseudogley

Horizon de gley

Horizon où la phase réticulaire est supérieure à 30 % en volume

Horizons contenant plus de 30 % en volume d'éléments grossiers
(éléments ferrugineux)

(éléments ferrugineux et quartzeux)

(éléments quartzeux)

Fragistérite

Pérostérite

Altérite de schiste (> 30 % du volume de l'horizon)

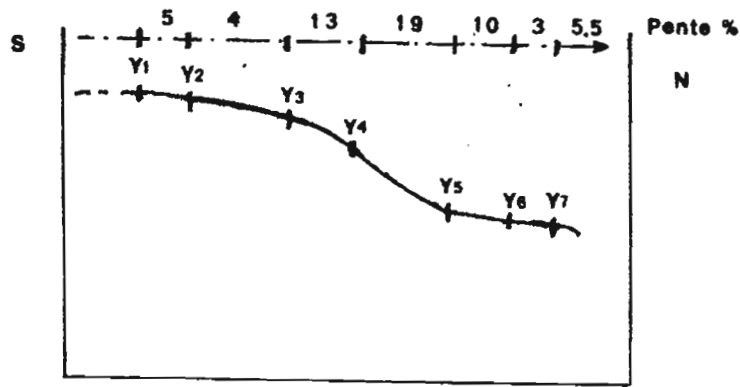
Isaltérite de schiste

Altérite de roche basique

Altérite de granite

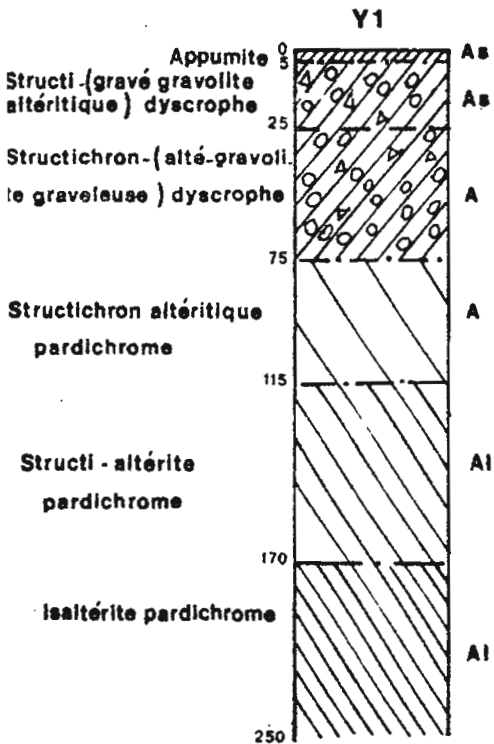
Granite

FIG N°15 TOPOSEQUENCE DE YAPO

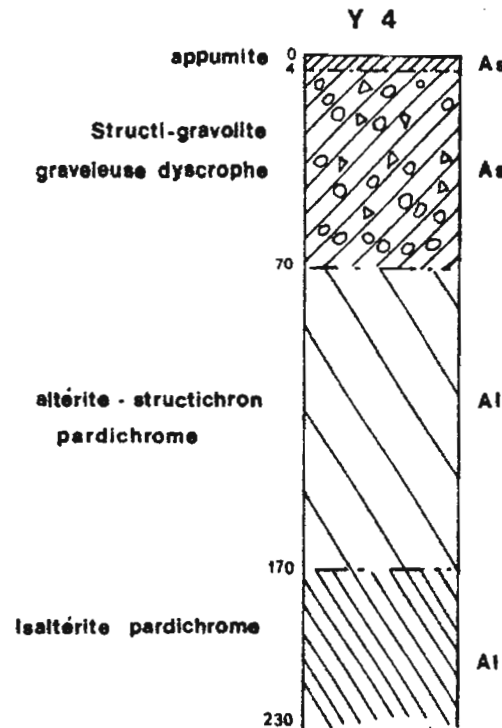


latitude : 5° 43 N
 longitude : 4° 08 W
 roche mère : Schiste

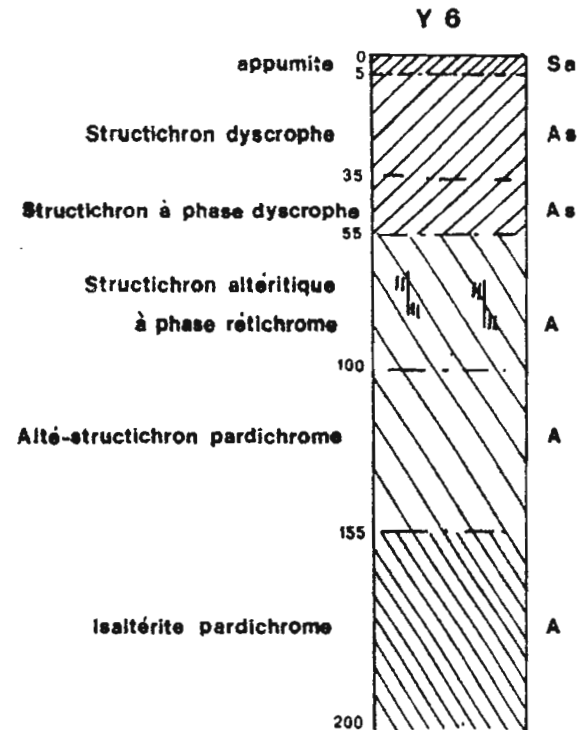
Lepto-apexol sur structi- (grave-gravolite altéritique) dyscrophe



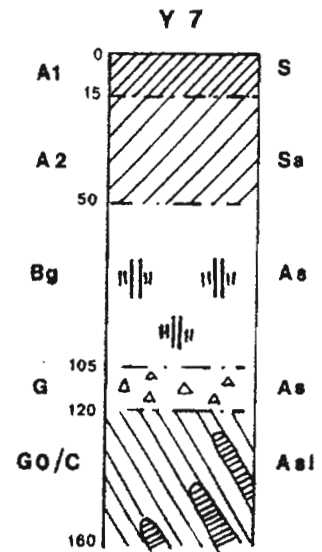
Lepto-apexol sur structi-gravolite dyscrophe



Dendro-apexol sur alté-structichron pardichrome



Sol hydromorphe peu organique à gley de profonde



en haut de versant et de colluvionnement au bas, d'où la formation très fréquente de versants convexo-concaves. La densité des thalwegs dépendant des quantités totales ruisselées (TRICART et CAILLEUX, 1974), il n'est pas surprenant d'observer des longueurs d'interfluves plus courtes dans les régions bien arrosées que dans les zones plus sèches.

Cependant, ces différences climatiques actuelles ne semblent pas éclairer tout à fait une telle variété de formes. Certes la répartition saisonnière des pluies diffèrent largement en fonction de la latitude (cf. figure n° 13), mais les pluviométries moyennes annuelles sont trop voisines (cf. figure n° 12), pour permettre une interprétation complète de la diversité des modelés.

Il est nécessaire de tenir compte, comme le proposent GRANDIN et DELVIGNE (1969) des héritages paléoclimatiques :

Dans le Nord, de nombreux auteurs (ESCHENBRENNER et GRANDIN 1970, ESCHENBRENNER 1975,...) ont mis en évidence l'existence de plusieurs niveaux d'aplanissement dont témoignent buttes et plateaux cuirassés. Les paysages ont conservé ces surfaces qui ont résisté, grâce à leur cuirassement, à différentes phases d'érosion.

Ainsi peut-on considérer le plateau cuirassé de la séquence de Papara, comme le vestige d'une surface ancienne (Haut-Glaciis du Quaternaire Ancien ?). L'ensemble de la toposéquence présente un cuirassement à faible profondeur (inférieure à 1,20 m) qui peut expliquer la fossilisation de sa forme subaplanie.

Dans le Centre du pays, les surfaces cuirassées sont nettement plus rares et limitées. Il faut y voir probablement l'influence de paléoclimats moins secs (COLLINET 1974).

La butte témoin de la toposéquence de Kobo (butte de très faible extension) pourrait appartenir lui aussi au niveau Haut-Glaciis. Le cuirassement est absent du versant, sauf en bordure du flat. Les phénomènes d'érosion ont donc pu jouer et donner à cette toposéquence sa forme actuelle.

Au Sud, les paléoclimats humides auraient prédominer. Si des indurations ont pu se réaliser, le démantèlement ultérieur a été presque total. L'influence des formes héritées seraient très faibles, et seule interviendrait la morphogénèse actuelle, orientée par les phénomènes de ruissellement en nappe et d'altération chimique.

Notons que des études hydrologiques sont actuellement menées sur la toposéquence de Yapo pour mettre en évidence l'importance du ruissellement en nappe sous forêt tropicale, par MM. CASENAVE et GUIGUEN.

I.1.4. Action sur les sols :

I.1.4.1. Description des toposéquences

En vue d'alléger la présentation des sols des trois toposéquences, nous nous limiterons à la description sommaire de l'enveloppe et du contenu sol des segments, en les accompagnant de schémas.

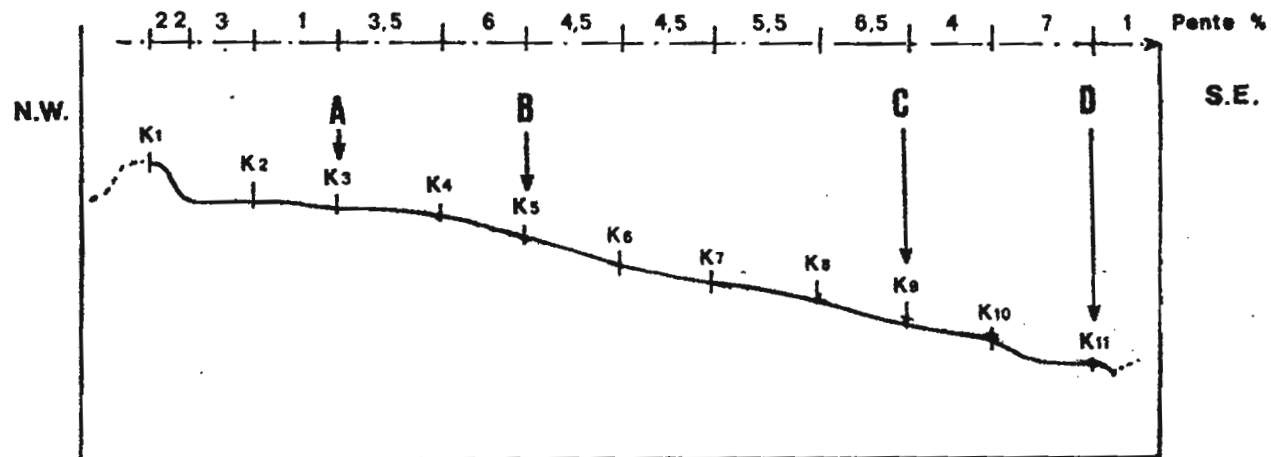
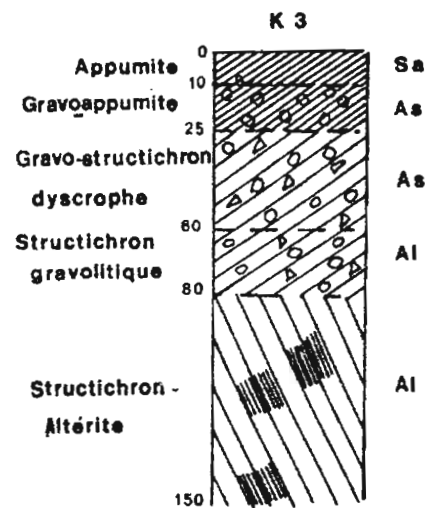


FIG. N° 16

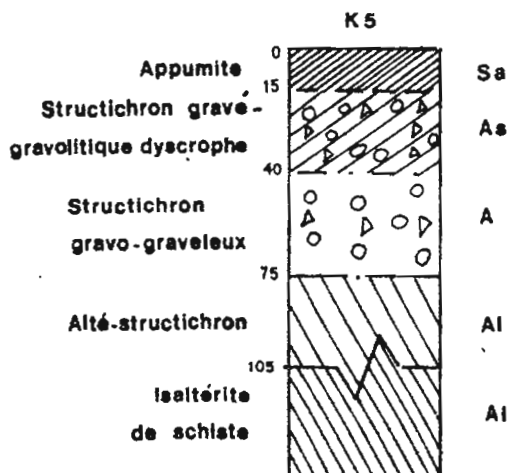
TOPOSEQUENCE DE KOBO

latitude : 8° 23 N
 longitude : 5° 03 W
 roche mère : Schiste

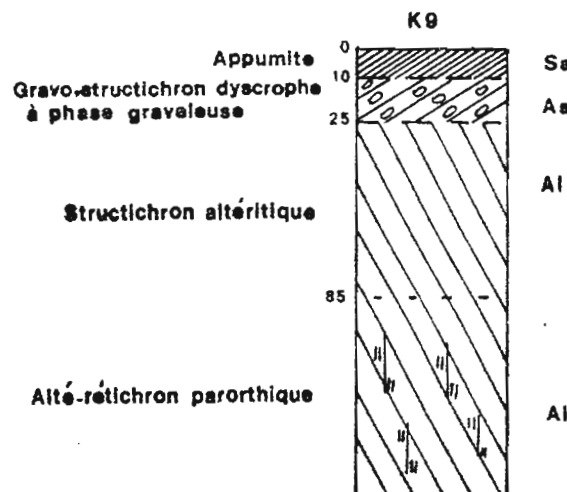
Ortho-apexol gravolitique



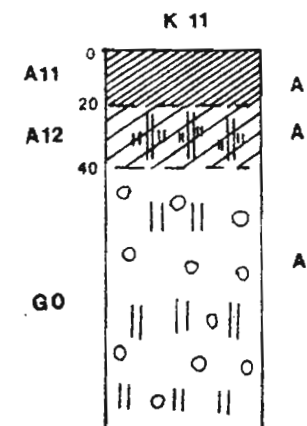
Dendro-apexol gravolitique sur isaltérite



**Dendro-apexol sur alté-
rétichron parorthique**



**Sol hydromorphe à
remise en mouvement
des composés de fer**



Yapo : cf. figures n° 15
(description VALENTIN)

- 1) sommet d'interfluve et versant : extension 460 m, profils Y1, Y2, Y3, Y4 et Y5.

Les appumites argilo-sableux peu épais recouvrent des horizons gravillonnaires dont le développement décroît avec la pente. L'isaltérite apparaît à une profondeur de 1,70 m. Les structures des horizons gravillonnaires passent de massives au sommet, à polyédriques subanguleuses en aval. Couleur du structichron gravolitique (Y1) : 5 YR 4/6, brun rougeâtre (glossaire 1969).

Segment de pédoplasation.

- 2) bas de versant : extension 50 m, profil Y6.

les appumites peu épais sablo-argileux recouvrent un structichron non gravillonnaire. Des traces de réticromation apparaissent entre 0,55 et 1,00m entre ce structichron dyscrophe et l'alté-structichron. La structure des structichrons est polyédrique. Couleurs du structichron altéritique à phase réticrome : 2,5 YR 5/6 (rouge), 25% de taches 2,5 YR 6/8 (rouge) et 10% de taches 10 YR 6/8 (jaune brunâtre).

Segment de réticromation.

- 3) bordure de thalweg : extension 10 m, profil Y7

l'horizon humifère sableux épais recouvre un horizon de gley apparaissant à 0,50 m. Les horizons humifères ont une structure grenue, les horizons sous-jacents ont une structure anguleuse à massive. Couleur du Bg : 2,5 Y 7/0 (gris clair), 30% de taches 7,5 YR 5/8 (brun vif).

Segment hydromorphe.

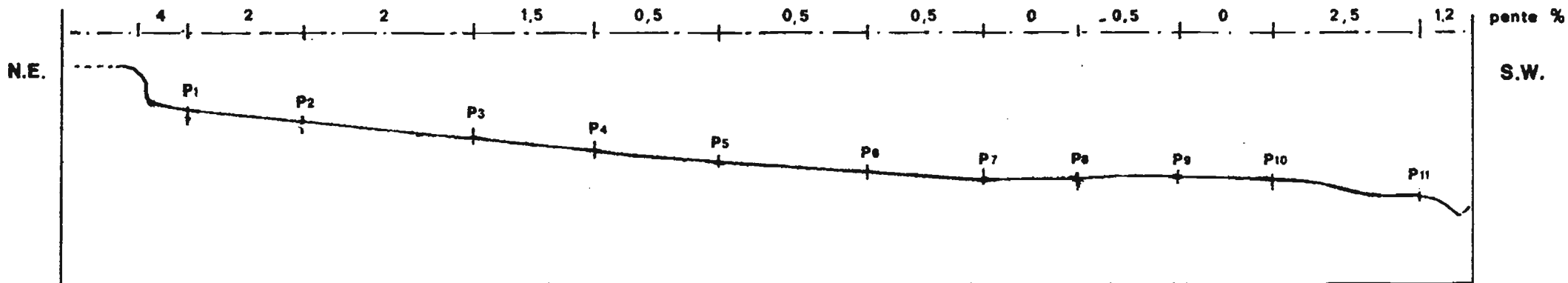
Dans le cas d'une cartographie de projet, nous proposerions les segments de contraintes suivants :

- 1) sommet d'interfluve : pentes $\leq 5\%$, extension 200 m, profils Y1, Y2, horizons gravillonnaires à très faible profondeur (0,05 m).
- 2) versant : pente $> 10\%$, extension 250 m, profils Y3, Y4 et Y5, horizons gravillonnaires à très faible profondeur.
- 3) bas de versant : pentes $\leq 5\%$, extension 60 m, profils Y6 et Y7, horizons meubles sur 0,50 m, hydromorphie dans les horizons sous-jacents.

Kobo : cf. figure n° 16
(description POSS et VALENTIN)

- 1) butte témoin et bande de raccord : extension 40 m, profil K1, cuirasse affleurante plus ou moins démantelée.

Segment de cuirassement.



**Scarro-apexol
sur structi-gravolite**

**Scarro-apexol
sur pétrostérite**

**Culti-apexol
sur gravo-duri-rétichron**

**Sol hydromorphe
à remise en mouvement
des composés du fer**

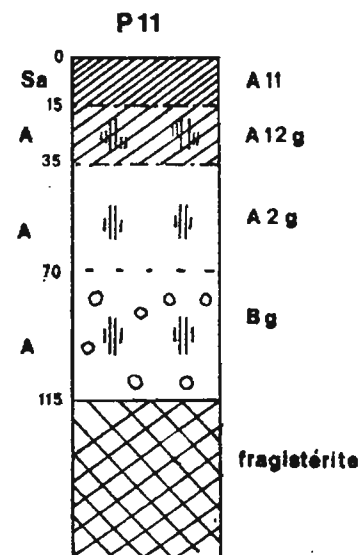
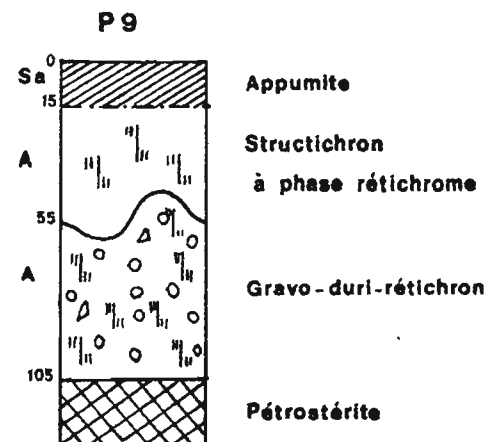
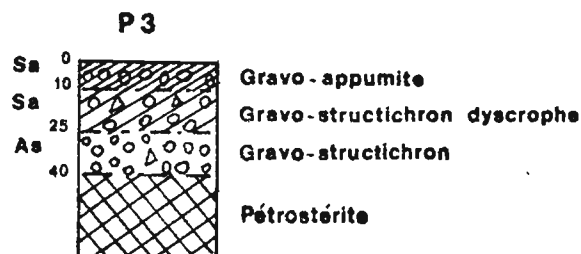
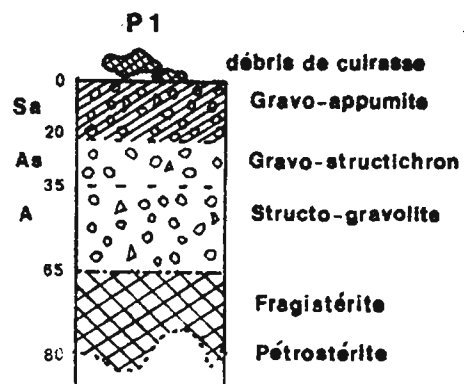


FIG. N°17

TOPOSÉQUENCE DE PAPARA

latitude : 10° 36 N
 longitude : 6° 16 W
 roche mère : Schiste

- 2) versant : extension 800 m, profils K2, K3, K4, K5, K6, K7 et K8.

Les appumites sablo-argileux ont une épaisseur qui décroît de l'amont vers l'aval. La profondeur d'apparition des horizons dyscrophes et gravillonnaires est à peu près la même sur l'ensemble du versant, sauf au pied de la butte où elle est plus importante (cf. figure n° 18). L'altérite apparaît vers 1,0 m. La structure des horizons gravillonnaires est massive à sous-structure polyédrique. Couleur du structichron gravolitique : de 10 R 4/6 en amont à 2,5 YR 4/6 en aval (rouge).

Segment de la pédoplasation.

- 3) bas de versant : extension 125 m, profils K9 et K10. Les appumites sablo-argileux recouvrent un horizon faiblement gravillonnaire et peu épais. En dessous le structichron altéristique passe à un alté-rétichron qui s'indure en aval (K10) en un fragistérite. Le structichron a une structure massive. Couleur de l'alté-rétichron parorthique : 2,5 YR 8/4 (jaune pâle), 15% de taches 10 R 4/8 (rouge) et 15% de taches 10 R 6/8 (rouge clair).

Segment de rétichromation et d'induration.

- 4) flat : extension jusqu'au marigot : 70 m (versant dissymétrique), profil K11.

L'horizon humifère et argileux recouvre un matériau où apparaît des traces d'hydromorphie temporaire. La structure est massive sur l'ensemble du profil. Couleur de l'horizon A12 : 7,5 YR 4/2 (brun foncé), 40% de taches 7,5 YR 5/8 (brun vif).

Segment hydromorphe.

Nous distinguerions les segments de contraintes suivants :

- 1) butte témoin et base de raccord : cuirasse affleurante extension 40 m, profil Y1, non cartographiable à moyenne échelle.
- 2) versant rectiligne de faible pente (<3%) extension 170 m, profils K2, K3 et K4, horizon gravillonnaire à 10 cm de profondeur, pénétration importante de la matière organique (sur 0,60 m).
- 3) versant convexo-concave de pente moyenne (3,5% à 6,5%) extension 630 m, profils K5, K6, K7 et K8, horizons gravillonnaires à 15 cm de profondeur, pénétration plus réduite de la matière organique (0,3-0,40 m).
- 4) bordure de thalweg de pente moyenne (4%-7%) : profil K9 et K10. Horizons à forte cohésion à partir de 25 cm, s'indurant à moins d'un mètre. Faible pénétration de la matière organique (0,25 m).
- 5) flat, extension sur la toposéquence : 70 m, profil K11, hydromorphie temporaire à partir de 0,20 m.

Notons que la distinction cartographique de ces segments de contraintes ne pourraient être réalisées que pour une échelle inférieure ou égale au 1/10 000°.

Au 1/200 000°, l'ensemble de la toposéquence constituerait une ou deux unités (l'ensemble du versant et le flat, à condition de figurer celui-ci par une ligne).

Papara : cf. figure n° 17.
(description TOISON et VALENTIN).

- 1) plateau cuirassé : extension sur la toposéquence : 100 m cuirasse affleurante et sols très peu profonds et gravillonnaires.

Segment de cuirassement.

- 2) 1/3 supérieur du versant : extension 600 m, profils P1, P2 et P3. Les appumites sablo-argileux dont la profondeur décroît de l'amont vers l'aval. Les horizons sous-jacents sont indurés (carapace puis cuirasse). Les appumites ont une structure grenue, les horizons gravillonnaires une structure polyédrique et une couleur 2,5 YR 6/8 (rouge clair).

Segment de pédoplasation.

- 3) 2/3 inférieurs du versant et rebord de thalweg : extension 870 m, profils P4, P5, P6, P9 et P10. Les appumites sablo-argileux recouvrent des structichrons argileux d'épaisseur variable où apparaissent des traces de réticromation. Les horizons sous-jacents sont indurés (du duri-rétichron à la fragistérite (carapace) et à la pétrostérite (cuirasse). Les horizons de l'infrasol sont massifs. Couleurs du structichron à phase réticrome ; 10 YR 7/6 (jaune), 10% de taches 2,5 YR 8/8 (rouge clair). Sur le rebord du thalweg, la cuirasse remonte à moins de 0,50 m de la surface.

Segment de réticromation et d'induration.

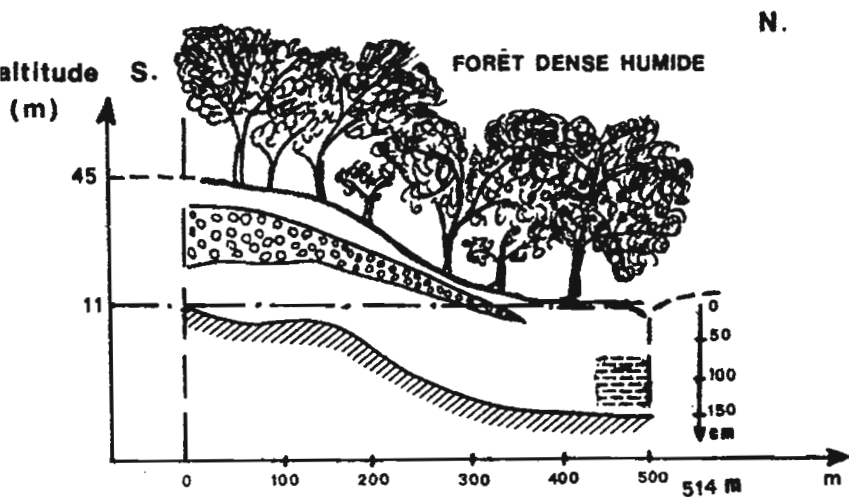
- 4) thalweg et amont de la bordure cuirassée ; extension 430 m, profils P7, P8 et P11. Les appumites sablo-argileux recouvrent des horizons meubles ou apparaissent des traces d'hydromorphie temporaire et dont la structure est massive. Couleurs du Bg : 10 YR 8/3 (brun très pâle), 30% de taches 2,5 YR 3/4 (rouge foncé). Le rebord cuirassé de thalweg induit fréquemment sur ce type de toposéquence une hydromorphie en amont par une légère inversion de pente due à une collature presque parallèle au marigot.

Segment hydromorphe.

Les segments de contraintes tiendraient compte, en premier lieu de la profondeur d'apparition de l'horizon induré :

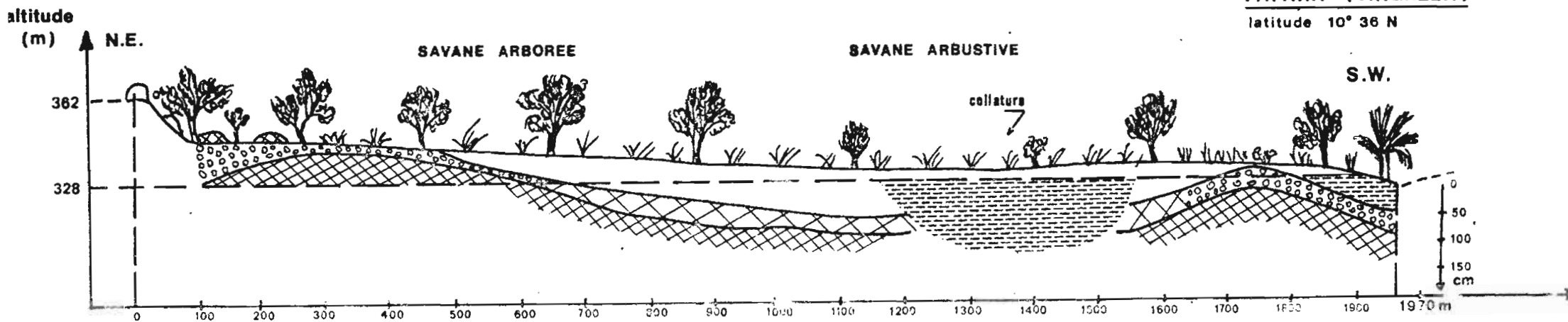
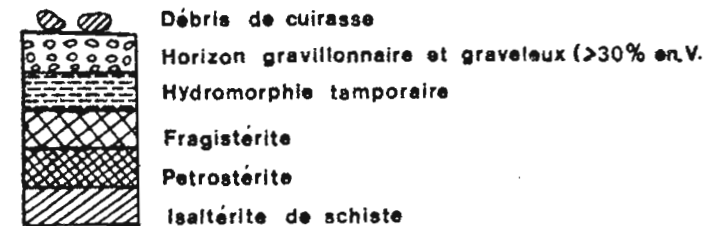
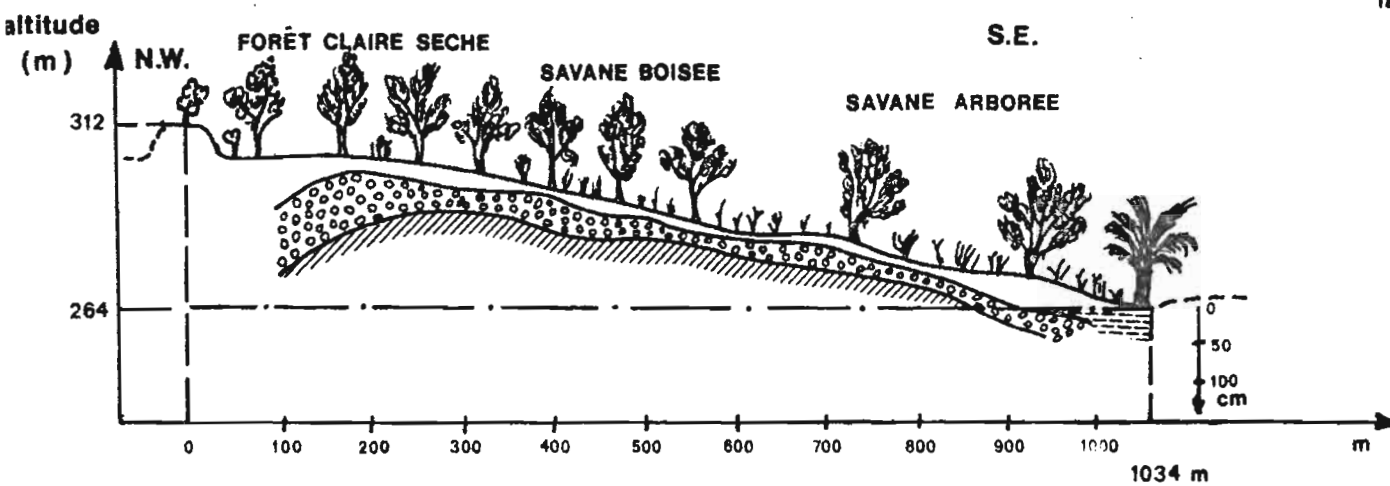
- 1) plateau cuirassé, 1/3 supérieur du versant, rebord de thalweg : extension 900 m. La présence de blocs de cuirasse en surface, des horizons gravillonnaires dès la surface recouvrant des horizons indurés à faible profondeur (moins de 0,40 m) constituent des obstacles à la mise en culture.

TROIS TOPOSEQUENCES SUR SCHISTES SITUÉES A DES LATITUDES DIFFÉRENTES



KOBO (KATIOLA)

latitude: 8° 23 N



- 2) 2/3 inférieurs du versant, extension 670 m : les horizons superficiels ne sont pas gravillonnaires et l'horizon induré apparaît à une profondeur supérieure à 0,50 m, mais la structure massive des horizons, leur forte cohésion, ainsi que la présence d'une nappe temporaire limitent les possibilités de travail du sol.
- 3) thalweg et amont de rebord cuirassé (collature) : extension 430 m : l'hydromorphie apparaît à moins de 0,20 m.

L'individualisation cartographique de la zone hydromorphe en amont du rebord cuirassé (280 m), n'est possible qu'au 1/50 000°. Au 1/200 000°, une seule unité regrouperait l'ensemble du versant.

I.1.4.2. Remarques générales.

Il est possible d'effectuer certaines remarques générales sur les sols issus de schistes du Sud au Nord de la Côte d'Ivoire, tout d'abord sur leur profondeur.

L'isaltérite n'apparaît à Yapo qu'à 1,50 m alors qu'on la trouve dès 0,5-1,0 m à Katiola. A Papara, les cuirasses se trouvent toutes à moins d'un mètre de profondeur (sauf pour les sols hydromorphes).

On observe également un allongement du segment désigné par la rétichromation, au fur et à mesure que l'on monte au Nord : Yapo : 50 m ; Kobo : 125 m , Papara : 870 m.

De même, l'induration (actuelle ou héritée) est de plus en plus marquée au Nord : elle est absente à Yapo, localisée à Kobo, presque généralisée à Papara.

Ces observations confirment les influences climatiques, ou paléoclimatiques, présentées lors de l'étude sommaire des modelés :

- dans le Sud : les périodes paléoclimatiques ont dû prédominer, favorisant, sous forêt, les phénomènes d'altération. Les profils, tronqués par l'érosion en surface, s'approfondissent par altération ; ils présentent ainsi des hypo-structichrons altéritiques assez développés (jusqu'à 1,50 m).

- dans le Nord : les faibles pentes limitent le ruissellement tandis que les pluies abondantes de la courte saison humide favorisent les phénomènes d'engorgement temporaire et par conséquent la mobilisation du fer. Aussi n'est-il pas étonnant de constater l'importance des segments de réticromation et d'hydromorphie en aval des toposéquences. (Il semble d'ailleurs que la plupart des réticroms aient hérité leurs caractères de paléoclimats encore plus contrastés). Il en est de même pour l'interprétation du cuirassement : il est très probable qu'il résulte davantage de l'action de climats antérieurs plutôt que des dessiccations actuelles, malgré la durée de la saison sèche.

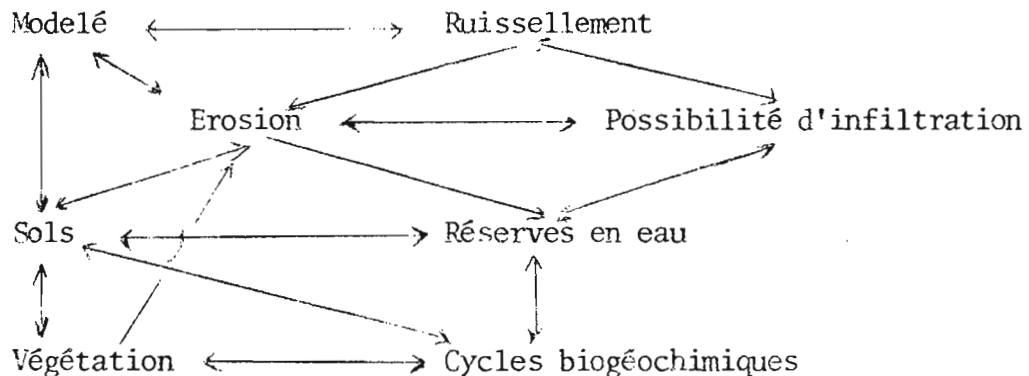
- dans le Centre : les processus pédogénétiques seraient intermédiaires entre le Sud et le Nord. L'altération serait moins rapide qu'à Yapo et la pédoplasation moins marquée : ainsi trouve-t-on l'altérite directement sous les horizons gravillonnaires. D'autre part les contrastes saisonniers ne seraient (ou n'auraient pas été) suffisants pour induire la formation d'horizons indurés, sauf localement (rebord de thalweg).

I.1.5. Action sur la végétation (cf. figure n° 18)

Si le couvert végétal varie, évidemment, en fonction de la latitude (de la forêt tropicale à la savane), des variations sont sensibles le long des toposéquences elles-mêmes.

L'observation d'un non spécialiste ne permet pas de discerner des différences à Yapo, sous forêt tropicale, il serait nécessaire de recourir à une analyse floristique précise. On observe, par contre le passage de la forêt claire sèche au sommet de Kobo (cf. figure n° 18) à la savane boisée, puis à la savane arborée en aval (ces termes sont empruntés à GUILLET (Atlas de Côte d'Ivoire, 1968). De même au Nord, la savane arborée cède la place, en bas de toposéquence, à la savane arbustive (Papara, figure n° 18).

Ces différences confirment l'interaction du modelé, des sols et de la végétation. Le principal agent semble l'eau :



On saisit par conséquent l'intérêt d'étudier les caractères hydrodynamiques des sols (cf. "Approches expérimentales" pp.50-54).

Divers auteurs (AVENARD, 1971 ; COLLINET, 1974) ont noté l'uniformisation des formes, en dépit des différences de substrats géologiques : au Nord à cause de l'induration généralisée
au Sud à cause de l'altération de toutes les roches.

Aussi, paraît-il intéressant d'étudier les modelés (et les sols) dans la région centre, où ces deux phénomènes sont atténués. En fixant le facteur climat (celui de Katiola, cf. figure n° 14), nous étudions maintenant l'action des variations géologiques.

I.2. Différenciations géologiques : exemple de trois toposéquences de la région de Katiola.

I.2.1. Données géologiques

La toposéquence d'Ofiakaha, située à une dizaine de kilomètres au Nord de Katiola, appartient à l'unité cartographique des "granites éburnéens concordants d'intragéosynclinaux". Il s'agit de granites calco-alcalins (carte géologique de Côte d'Ivoire au 1/1 000 000°, 1965).

La toposéquence de Kobo, déjà présentée est formée sur des schistes du birrimien (cf. p.34).

La toposéquence de Pétionara, à 50 km au Nord de Katiola, se trouve sur une formation de l'unité "Roches vertes neutres à ultra-basiques des complexes formations volcano-sédimentaires".

I.2.2. Données climatiques

Nous considérerons que le climat est sensiblement identique pour les trois toposéquences et voisin de celui de Katiola (cf. p.31 et figure n° 14).

I.2.3. Action sur le modelé

Les trois toposéquences ont des modelés différents :

Ofiakaha : cf. figure n° 19, l'ensemble du versant est court (850 m) et convexe, on peut distinguer :

- le sommet et la moitié supérieure du versant où les pentes sont faibles : de 1,5% à 4%
- la moitié inférieure de versant où les pentes sont plus marquées : de 4% à 7,5%.

Kobo : cf. p. 34 et figure n° 16.

Pétionara : cf. figure n° 20, se succèdent, à partir du sommet :

- une corniche cuirassée à forte pente (11% à 16,5%).
- une moitié supérieure de versant concave de faible pente (2% à 3,5%).
- une moitié inférieure de versant convexo-concave de pente plus forte (3% à 6%)
- une bordure convexe de thalweg (pente 7,5%).

La longueur de cette toposéquence est proche du double (1530 m) de celle d'Ofiakaha.

Il semble que l'on puisse attribuer l'origine de ces formes à la nature des différentes roches mères :

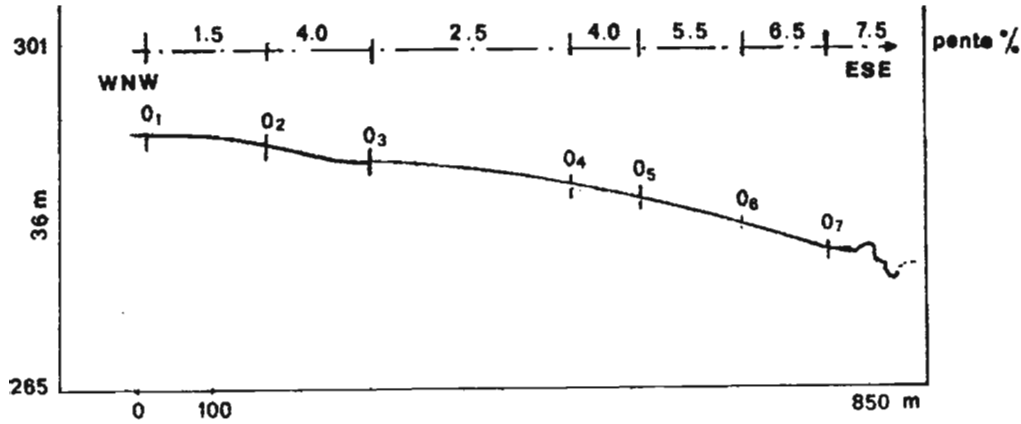
sur granite : l'altération libère une forte proportion de sables grossiers qui favorise probablement l'infiltration des eaux de pluie et limite ainsi l'action du ruissellement (cf. Sables tertiaires pp.108-109) serait par conséquent très limité (pente forte en bas de toposéquence, et affleurement rocheux en bordure du marigot).

La faiblesse du ruissellement (et de l'érosion) combinée à une altération favorisée par l'infiltration conduirait à la formation de versants convexes. Ceux-ci semblent apparentés, mais d'une manière atténuée, au relief en "demi-orange" décrit par TRICART et CAILLEUX (1974) sous des climats plus humides.

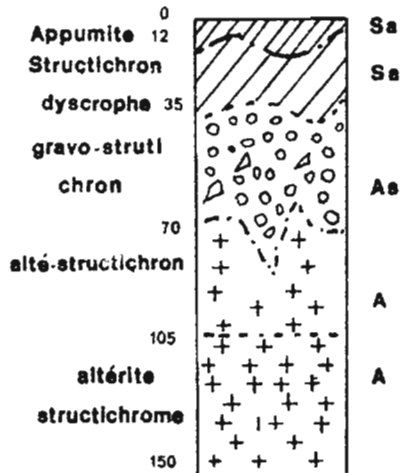
OFIAKAHA

latitude : 8° 13 N

longitude : 5° 09 W

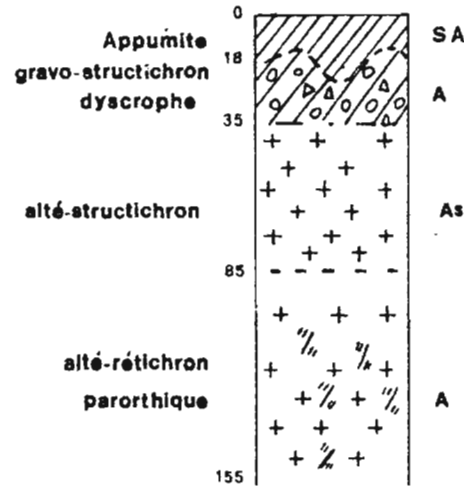


O₁
Dendro-apexol sur alté-structichron



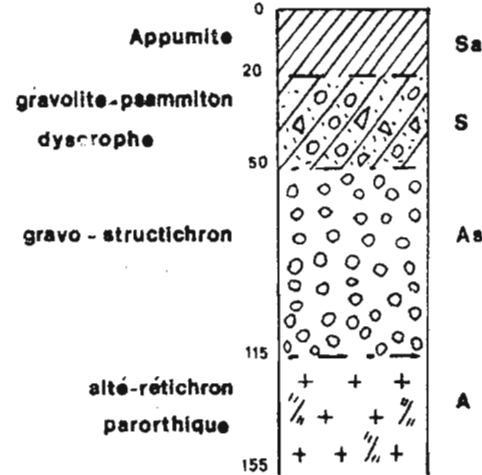
Sa
Sa
As
A
A

O₄
Culti-apexol sur alté-rétichron



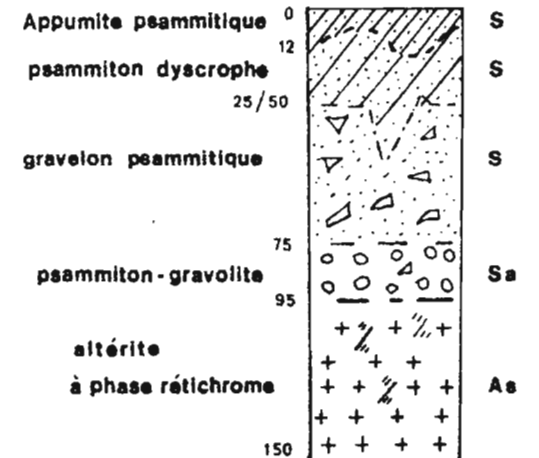
SA
A
As
As
A

O₆
Lepto-apexol sur gravolite-psammiton dyscrophe



Sa
S
As
As
A

O₇
Scarro-apexol psammitique sur gravelon psammitique



S
S
S
Sa
As

sur schistes : les sols qui en dérivent sont plus argileux. Le ruissellement est plus marqué (cf. "Approches Expérimentales pp.50-54). L'érosion en nappe, surtout sur la partie non boisée, favorise probablement le colluvionnement, et la formation, par conséquent, d'un versant à profil convexo-concave. La présence de fer en quantité importante aurait induit, à une époque vraisemblablement antérieure, la constitution de la cuirasse en voie de démantèlement (cf. p. 34).

sur roches vertes : la nature argileuse des sols permettrait également l'action de l'érosion (l'eau commence à ruisseler pour des intensités faibles de précipitations). Les limites de liquidité de ces sols seraient inférieures à celles des sols formés sur schistes (cf. p.50-54), favorisant ainsi les phénomènes de solifluxion. Selon ROUGERIE (thèse, 1960) ce caractère pédologique serait responsable des concavités sommitales observées (cf. figure n° 20) ainsi que des légères convexités de bas de versant. On retrouverait, dans la région de Katiola, avec des pentes moins marquées, le type de forme décrit par cet auteur en Basse Côte d'Ivoire.

Les différents modelés de la région de Katiola seraient davantage voisins de ceux du sud du pays que du nord. On y décèle, en effet, beaucoup plus le rôle de l'eau (altération, érosion, solifluxion) que celui de l'induration et du cuirassement très marqués plus au Nord.

I.2.4. Action sur les sols

Ofiakaha : cf. figures n° 19 et 21.
(description POSS et VALENTIN)

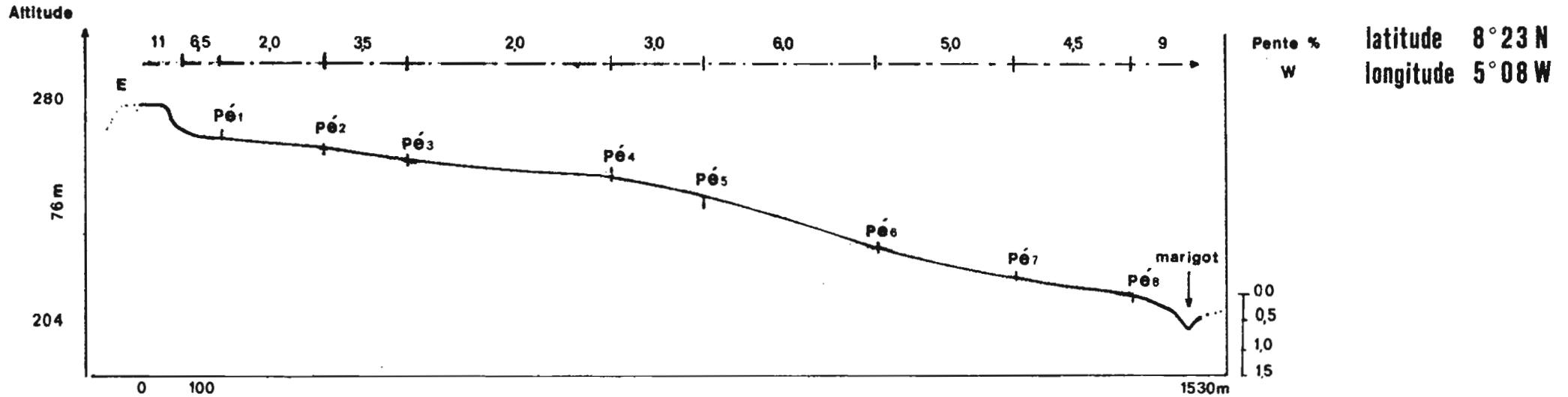
- 1) sommet et moitié supérieure de versant : extension 470 m, profils 01, 02 et 03. Les appumites sablo-argileux recouvrent des structichrons dyscrophes. Des horizons gravillonnaires apparaissent vers 0,40 m. Le passage à l'altérite est progressif à partir de 0,70 m. Les structichrons et les horizons gravillonnaires ont une structure massive. Couleurs de l'alté-structichron : 2,5 YR 4/8 (rouge), 40% de taches 10 YR 6/8 (brun jaunâtre).

Segment de la pédoplasation.

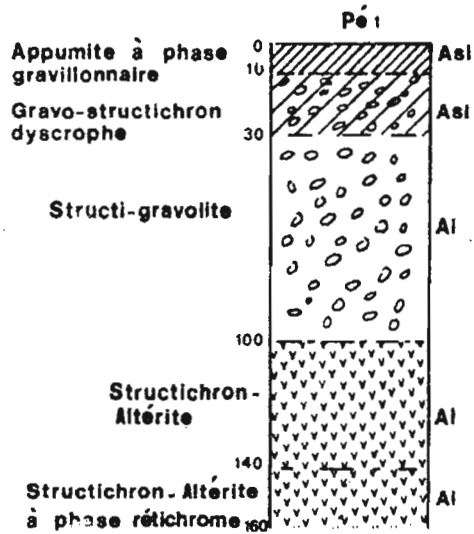
- 2) moitié inférieure du versant : extension 380 m ; profils 0,4, 05, 06 et 07. Les appumites et psammitons dyscrophes sont de plus en plus sableux vers l'aval. Les horizons sous-jacents sont épais (0,7 m à 1,0 m) et recouvrent des altérites où apparaissent des signes de réticromation surtout à mi-pente. Les horizons psammitiques sont massifs. Couleur des altérites à phase réticrome : 10 R 4/8 (rouge), 10% de taches 10 YR 7/2, (gris clair).

Segment de la réticromation.

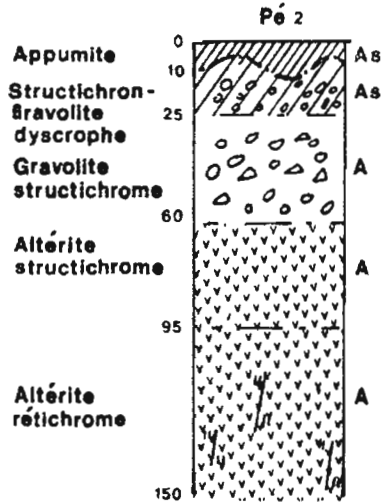
Petionara



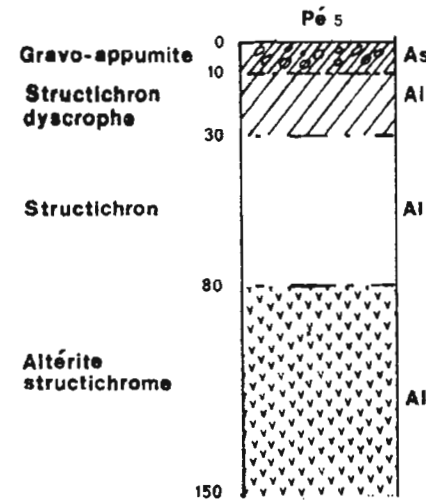
Scarro-Apexol sur structi-gravolite



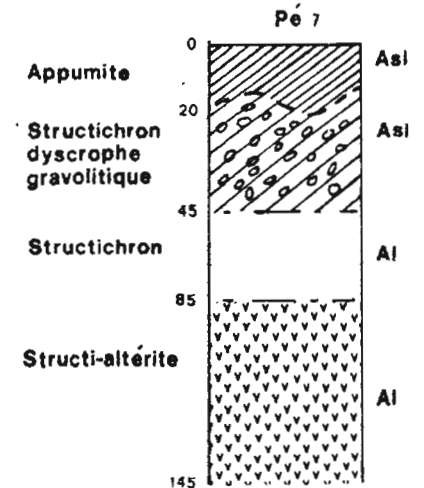
Scarro-Apexol sur gravolite structichrome



Dendro-Apexol sur altéríte structichrome



Dendro-Apexol sur structi-altéríte



L'extrême variabilité des profondeurs restreint considérablement la possibilité de préciser les segments de contraintes même à grande échelle. Nous retiendrions les segments pédologiques précédents en précisant :

- 1° segment : pente assez faible (1,5% à 4%), horizons superficiels sablo-argileux.
- 2° segment : pente plus forte (4% à 7%), horizons superficiels très sableux.

Seule l'échelle du 1/100 000° permettrait de distinguer deux unités cartographiques différentes, pour l'ensemble de cette toposéquence.

Kobo : cf. p. 34 et figures n° 16 et 18.

Pétionara : cf. figures n° 20 et 21.
(description LEVEQUE, POSS, TOISON et VALENTIN)

- 1) sommet : extension 80 m, affleurement de cuirasse.

Segment de l'induration (probablement hérité).

- 2) tiers supérieur du versant, extension 580 m, profils Pé 1 à Pé 4. Les appumites sont argilo-sableux. Sous les horizons gravillonnaires et argileux sous-jacents, apparaissent l'altérite (vers 0,6m - 1,0m) et quelques traces de rétichromation vraisemblablement héritées. (La figure n° 21 suggère une inversion générale du relief ?). Les horizons gravillonnaires ont une structure massive, faiblement polyédrique. Couleurs de l'altérite rétichrome : 2,5 YR 4/6 (rouge), 15% de taches 10 YR 7/8 (jaune) et 10% de taches 10 R 4/6 (rouge).

Segment de la rétichromation.

- 3) deux tiers inférieurs du versant, extension 870 m. Profils Pé 5 à Pé 8. Les appumites argilo-sableux sont plus ou moins gravillonnaires. Un hypo-structichron argileux de 30 à 50 cm d'épaisseur s'intercale, pour la plupart des profils observés, entre les horizons gravillonnaires et le structi-altérite qui apparaît vers 80 cm. On n'observe aucune trace de rétichromation. Les horizons de l'infrasol sont massifs. Couleur de l'hypo-structichron : 10 R 4/7 (rouge).

Segment de la pédoplasation.

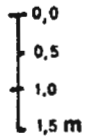
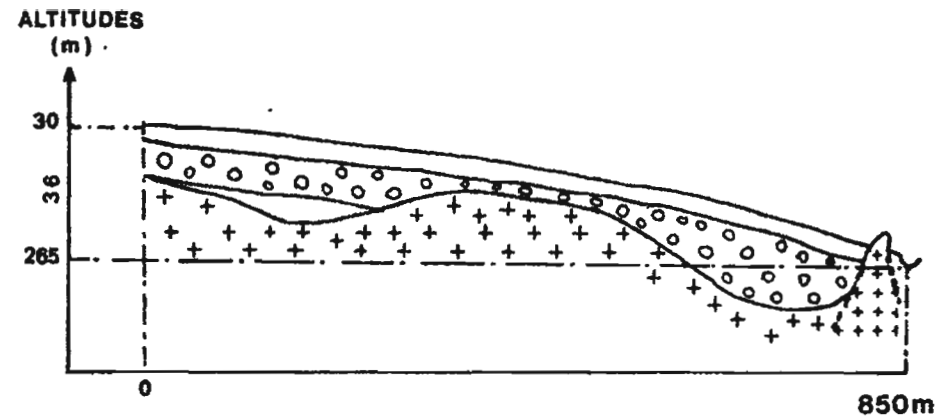
Comme pour la toposéquence d'Ofiakaha, les segments de contraintes correspondraient ici aux segments pédologiques dont les limites coïncident avec des ruptures de pente :

- 1° segment : cuirasse affleurante, pente très forte: (11%)
- 2° segment : pente faible : 2% à 3,5%
- 3° segment : pente moyenne de 4,5% à 6%.

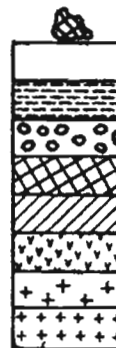
Ces deux derniers segments pourraient apparaître sur deux unités distinctes à l'échelle du 1/200 000°, mais pas le premier (corniche sommitale).

FIG. N° 21

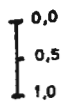
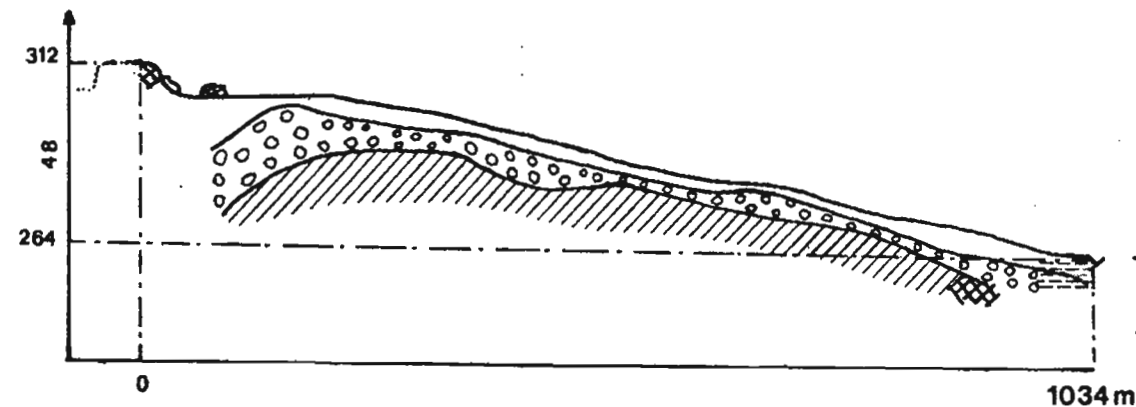
TROIS TOPOSEQUENCES DE LA REGION DE KATIOLA



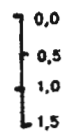
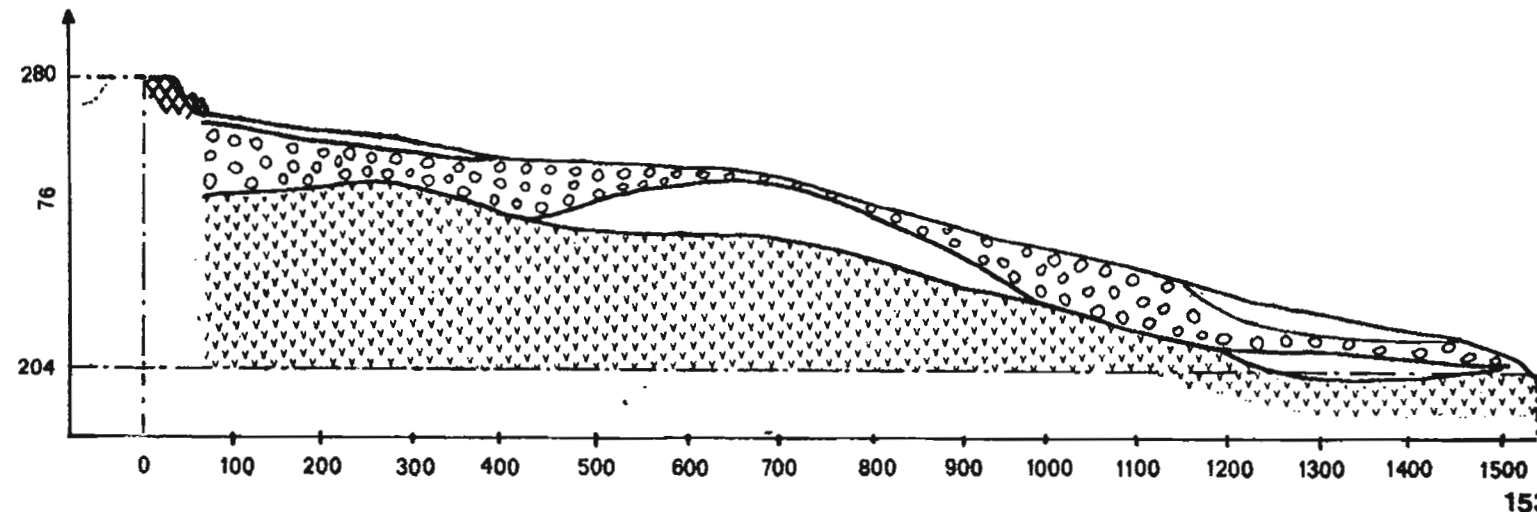
Sur Granite
(OFIAKAHA)



- Débris de cuirasse
- Appumite ou structichron
- Hydromorphe temporaire
- Horizon contenant plus de 30% d'éléments grossiers en volume
- Petrostérile
- Altérite de schiste
- Altérite de roche verte
- Altérite de granite
- Granite



Sur Schiste
(KOBO)



Sur Roche Basique
(PETIONARA)

Ainsi la nature des roches mères intervient directement sur la texture des sols : sableuse pour les granites, argileuses pour les schistes et roches vertes.

La répartition entre la pédoplasation et la rétichromation semble déterminée par le substrat , le modelé et les paléoclimats :

sur granites : l'infiltration importante favoriserait les accumulations d'eau au niveau des altérites très argileux (apparition de la rétichromation au milieu du versant).

sur schistes : ces accumulations d'eau n'ont lieu qu'en bas de versant où se concentrent les eaux de ruissellement de l'ensemble de la toposéquence ; la pédoplasation est limitée à la dernière centaine de mètres du bas de versant (cf. p. 35).

sur roches vertes : ce phénomène n'apparaît que lorsque les pentes sont très faibles (haut de la toposéquence où l'on observe des traces de rétichromation, peut-être héritées). En aval les pentes plus fortes permettraient une évacuation plus rapide des eaux vers le marigot (absence de rétichromation en bas de toposéquence).

I.2.5. Action sur la végétation :

L'observation très sommaire de la végétation permet de constater que la forêt claire sèche couronne uniquement le sommet de la toposéquence sur granite, qu'elle occupe le tiers supérieur de la toposéquence sur schistes (cf. figure n° 18) et les deux tiers supérieurs de celle située sur roches vertes. Il semble que l'on puisse mettre la présence de la forêt en relation avec les réserves hydriques des sols et donc de leur texture (cf. p.49 , "Approches expérimentales"). Mais, il n'est pas possible de tirer de cette remarque une règle générale (notamment à cause des feux de brousse et des défrichements).

I.3. Conclusion.

De cette représentation du milieu naturel, il ressort que de nombreuses informations sont directement exploitables par un aménageur travaillant sur des cartes à petite échelle (1/200 000°) : pente, texture, induration, présence de gravillons, d'une nappe, etc...

La description du milieu naturel amène cependant le chercheur à se poser diverses questions sur la formation des sols, leurs dynamiques actuelles et leurs potentialités agricoles.

L'étude précédente a fait ressortir notamment le rôle prédominant de l'eau : l'engorgement entraînant l'hydromorphie, le drainage, l'altération et la dessiccation prolongée l'induration ?

Aussi est-il intéressant de mesurer avec précision la cohésion des sols en fonction de la saison (une prospection pédologique ne permet pas l'étude des variations au cours de l'année). Diverses hypothèses concernant la perméabilité des sols réclament

également une confirmation de la part de mesures précises afin d'étayer l'approche descriptive (et déductive), indispensable mais trop hypothétique et surtout non quantifiée.

Certaines relations paraissent exister entre les types de sol et leur couvert végétal, mais une étude plus fine est nécessaire pour préciser davantage les différentes interactions.

Un tel travail, réclamant de nombreuses mesures, devrait pouvoir être entrepris lors de chaque étude approfondie du milieu naturel.

CHAPITRE II : APPROCHES EXPERIMENTALES :

Caractérisations physiques et biologiques d'une toposéquence sur schiste de la région de Katiola.

L'étude morphologique a mis en évidence des relations entre la végétation, le modelé et les sols. Ces observations entraînent certaines hypothèses, mais pas des explications. Il apparaît nécessaire de dépasser la simple corrélation des éléments décrits et de tenter une étude plus expérimentale en vue de fournir davantage de données chiffrées aux aménagistes.

Dans cette optique, MM. POSS et VALENTIN ont entrepris une étude des caractères hydrodynamiques et biologiques de la toposéquence sur schistes, représentative de la région de Katiola (Kobo), présentée, dans le chapitre précédent. Ils espèrent ainsi apporter des compléments nécessaires aux études cartographiques et envisagent d'étendre ce type de travail à d'autres toposéquences issues de roches différentes (granites et roches vertes) et situées sous d'autres latitudes) afin de renforcer la représentativité des échantillons.

Quelques résultats obtenus par M. VALENTIN sont présentés ici. Ils concernent diverses expérimentations physiques et biologiques. Les données de M. POSS n'étant pas encore disponibles (densités apparentes, infiltration Pioger et Vergière, porosités... ni ceux du laboratoire d'Analyses, il ne s'agit en aucun cas d'une synthèse. Celle-ci fera l'objet d'un rapport ultérieur. Il ne faudra donc pas s'étonner de ne trouver dans les pages qui suivent qu'une approche très partielle des différents phénomènes hydrodynamiques et biologiques.

II.1. Approches physiques.

L'étude descriptive des sols a mis en évidence l'existence de contraintes édaphiques particulièrement importantes qu'il paraît nécessaire d'étudier plus en détail grâce à plusieurs séries de mesures. Il s'agit de :

- la cohésion des sols agissant sur la pénétration racinaire et dépendant de plusieurs facteurs (nature de l'horizon, taux de pierrosité, humidité...)
- plusieurs termes édaphiques du bilan hydrique (les réserves en eau, les pertes par ruissellement)
- la résistance du milieu vis-à-vis des agents climatiques (érodibilité sous végétation naturelle) et humains (érodibilité des sols nus labourés).

II.1.1. La cohésion du sol

II.1.1.1. But de l'étude

Les diverses observations effectuées au cours des travaux de cartographie des régions de Tingrela et de Katiola ont montré que le pédologue compare facilement la cohésion des horizons d'un même profil ou d'une même toposéquence. Il éprouve, par contre, certaines

difficultés à évaluer ce caractère lorsqu'il change de région. Il est alors obligé de se forger une nouvelle échelle de référence. Ainsi, un horizon "meuble" du Nord de la Côte d'Ivoire sera-t-il considéré comme "assez cohérent" pour un pédologue habitué à travailler plus au Sud. De plus l'observation des profils à différentes périodes de l'année permet de mettre en évidence une variation saisonnière de la cohésion. Compte-tenu de ces remarques, il nous a paru intéressant d'entreprendre une étude permettant d'obtenir des données quantitatives sur la cohésion des sols dont l'évaluation est le plus souvent subjective et variable suivant le cadre de l'étude (région pédologique : induration généralisée etc..., époque de l'année).

II.1.1.2. Méthode utilisée.

Nous avons employé un appareil très voisin de ceux utilisés par divers auteurs : ALEXIADIS (1963), HENDRICK (1969), HENIN (1976). Il s'agit d'une sonde dynamométrique commercialisée par Labotest⁽¹⁾ sous le nom d'"aiguille proctor".

L'appareil est constitué d'un dynamomètre à ressort prolongé par une tige de pénétration recevant un embout calibré. Cette tige est graduée en demi-centimètres en vue de fixer, grâce à un onglet que nous avons adapté sur l'appareil, la profondeur atteinte. La tige du dynamomètre est graduée en décanewtons (daN), un index affiche la force maximale exercée sur l'embout lors de la mesure, qui peut atteindre 50 daN, soit près de 50 kgf (cf. figure n° 22).

Conventionnellement, nous avons exprimé les résultats en daN pour une surface circulaire plane de 1,25 cm² enfoncée sur 2,5 cm.

II.1.1.3. Critique de la méthode.

Ces mesures nécessitent un grand nombre de répétitions effectuées toujours par le même opérateur : nous avons procédé à 50 répétitions pour déterminer une valeur (10 mesures sur 5 surfaces réduites de 200 cm², le résultat retenu étant la moyenne des 5 médianes). Il est à noter que si la dispersion est importante sur chaque site de 200 cm² (d'où le choix de la médiane), elle l'est beaucoup moins entre ces médianes (d'où le choix de la moyenne des médianes).

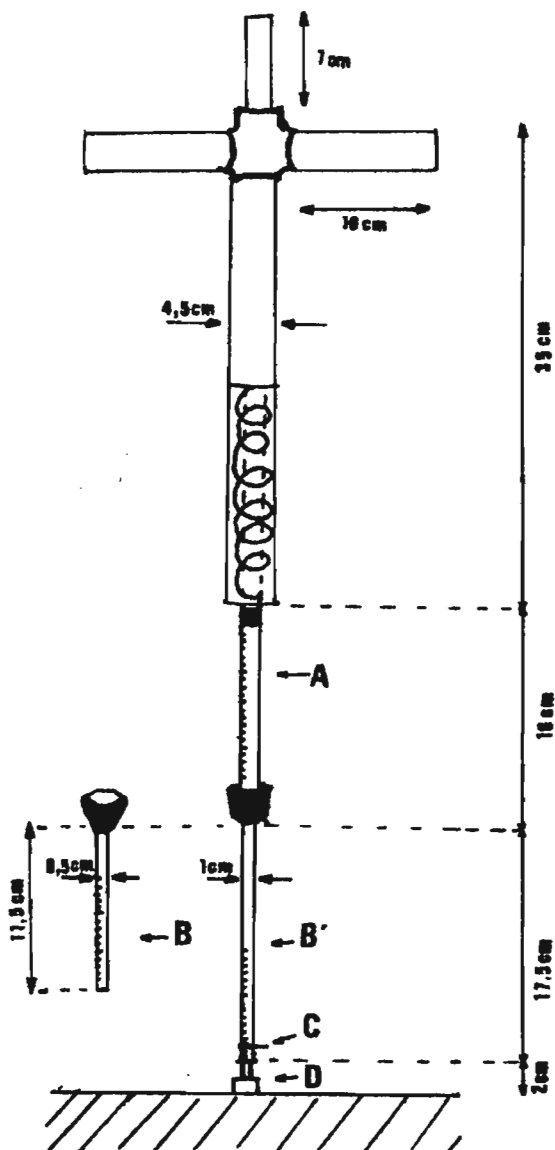
Nous avons voulu tester la validité de la méthode en mesurant les résistances à la pénétration sur des sols homogènes à l'aide d'embouts différents. Pour cela nous avons réalisé, comme d'habitude, 50 répétitions par valeur retenue, sur des horizons superficiels ayant subi des techniques de préparation du sol particulières, de la part du laboratoire d'Agronomie. Ces deux horizons ont des densités différentes : 1,2 et 1,5.

(1) Notice AR 1031. Labotest : 41 avenue Batholmé, Paris XV.

FIG. N°22 : SCHEMA DE L'AIGUILLE PROCTOR

(CONSTRUCTEUR : LABOTEST)

- A** : tige dynamométrique graduée en daN
- B et B'** : tiges pénétrométriques
- C** : englet de limite d'enfoncement
- D** : embout, de surface variable



surface des embouts (cm²)

| | |
|------|------|
| 0.30 | 1.25 |
| 0.60 | 2.50 |
| | 3.75 |
| | 5.00 |
| | 6.25 |

Nous avons fait varier les profondeurs d'enfoncement, ainsi que les surfaces pénétrantes. Les résultats sont tous exprimés en daN/cm²/cm :

Horizon d.a. : 1,2 :

| profondeur | embout | résistance à la pénétration |
|------------|---------------------|-----------------------------|
| 2,5 cm | 2,5 cm ² | 0,2 |
| 10,0 cm | 2,5 cm ² | 0,2 |
| 10,0 cm | 5,0 cm ² | 0,3 |

Horizon d.a. : 1,5 :

| profondeur | embout | résistance à la pénétration |
|------------|---------------------|-----------------------------|
| 2,5 cm | 2,5 cm ² | 2,8 |
| 2,5 cm | 5,0 cm ² | 2,9 |

Il semble possible de déduire des résultats précédents qu'il est préférable de faire varier la profondeur d'enfoncement que la surface pénétrante.

II.1.1.4. Résultats.

Plus de 3000 mesures ont été effectuées en saison des pluies, sur les 14 horizons des trois emplacements A, B et C de la toposéquence de Kobo (cf. figure n° 16). Elles ont été menées en pénétrométrie horizontale sur les profils et en pénétrométrie verticale sur les horizons, découverts successivement lors de l'ouverture des grandes fosses (surface 3 x 4 m²) et servant aux mesures Pioger. Les résultats entre ces deux types de pénétrométrie diffèrent peu. Pour chaque horizon, 5 à 6 mesures ont été effectuées pour des humidités distinctes. Mais, opérant en saison des pluies, toutes ces humidités s'écartaient peu toutefois de celle de la capacité au champ. Nous n'avons pas pu pour cette raison suivre les variations de la résistance à la pénétrométrie en fonction de l'humidité au cours de la saison des pluies. En saison sèche, plus de 500 mesures ont de nouveau été réalisées sur les horizons des profils A, B, C et D. De ces nouveaux résultats, il est possible de formuler certaines remarques :

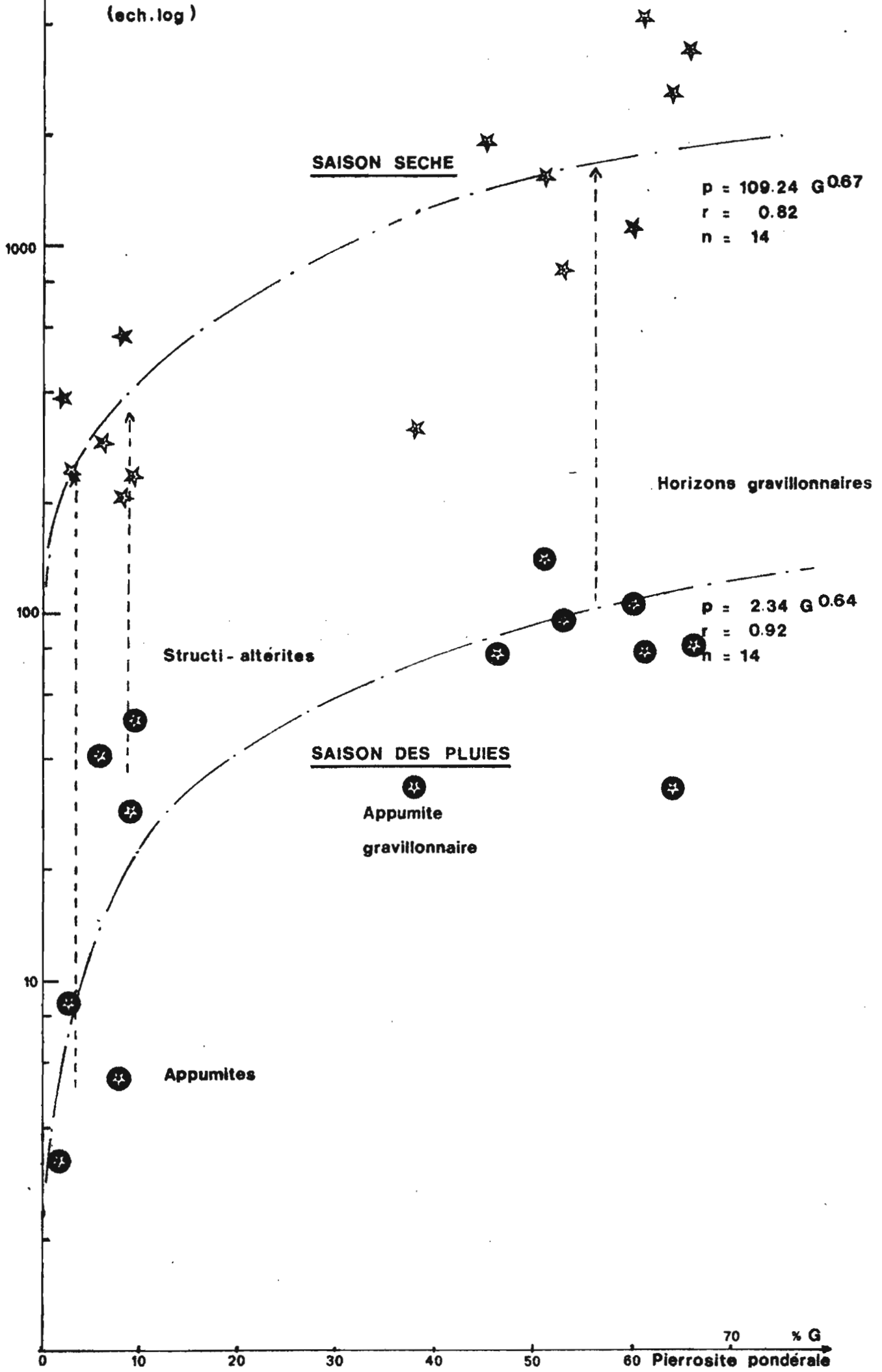
a) influence du taux de pierrosité :

La figure n° 23 présente l'influence du taux de pierrosité pondérale sur la résistance à la pénétration. Il s'agit des résultats de mesures pénétrométriques horizontales réalisées pendant le mois où la différence P-ETP est maximale (septembre) et celui où elle est minimale (janvier 1978) (cf. figure n° 14).

On constate que cette résistance est une fonction exponentielle du taux de pierrosité. Les deux courbes d'ajustement (cf. figure n° 23) se correspondent par une transformation proche de la translation (les arguments des exponentielles sont presque identiques). Ainsi pour un même taux de pierrosité, la résistance à la pénétration est environ 50 fois plus élevée en saison sèche qu'en saison des pluies.

FIG N°:23 RESISTANCE A LA PENETRATION HORIZONTALE ET TAUX DE PIERROSITE

P
da N / 2,5 cm / 125 cm²
(ech. log)



3 types d'horizons apparaissent :

- horizons superficiels contenant une certaine quantité de matière organique (appumite)
- horizons profonds :
 - gravillonnaires (gravolites et horizons gravolitiques)
 - non gravillonnaires (altérites et structi-altérites).

Alors que les appumites et les structi-altérites ont un taux de pierrosité voisin (moins de 10%), leur cohésion (en principe liée à la résistance à la pénétration) diffère considérablement lors de la saison des pluies. Elle est par contre, voisine en saison sèche (cf. figure n° 23).

Si cette étude n'est guère originale (la résistance à la pénétration augmente avec le taux de pierrosité), elle apporte néanmoins des données chiffrées, permettant des comparaisons plus fiables. Le glossaire (1969) distingue trois types de cohésion entre agrégats : bouillant, meuble et cohérent. Or aucun des horizons étudiés n'est bouillant, en aucune période de l'année, deux adjectifs donc auraient dû servir à distinguer toutes les cohésions comprises entre des résistances à la pénétration de 200 gf à 300 kgf (cf. figure n° 23) ! La limite entre "meuble" et "cohérent" aurait été probablement assez difficile à définir.

Opérant en saison sèche, il est vraisemblable, de plus, que l'on aurait qualifié de "meubles" des horizons (appumites et structi-altérites), qui en fait auraient été plus cohérents que les matériaux désignés comme "cohérents" au cours de la saison des pluies (cf. figure n° 23) : c'est à dire les horizons gravillonnaires.

Il faut noter toutefois que le classement des horizons reste identique quelle que soit la saison (sauf pour les appumites et structi-altérites qui ont le même rang en saison sèche).

Une étude devrait être entreprise en vue de vérifier que la résistance à la pénétration exprimée ici correspond bien à la résistance à la pénétration racinaire. Il est à noter que la surface de référence utilisée est égale à la section d'une racine de 1,26 cm de diamètre ("racine moyenne").

b) influence de l'humidité :

Les mesures réalisées sur chaque site de 200 cm², s'accompagnent chacune d'une prise d'échantillon en vue de déterminer l'humidité pondérale (exprimée en % de la masse séchée à l'étuve à 105°C). 5 répétitions sont ainsi effectuées par valeur obtenue.

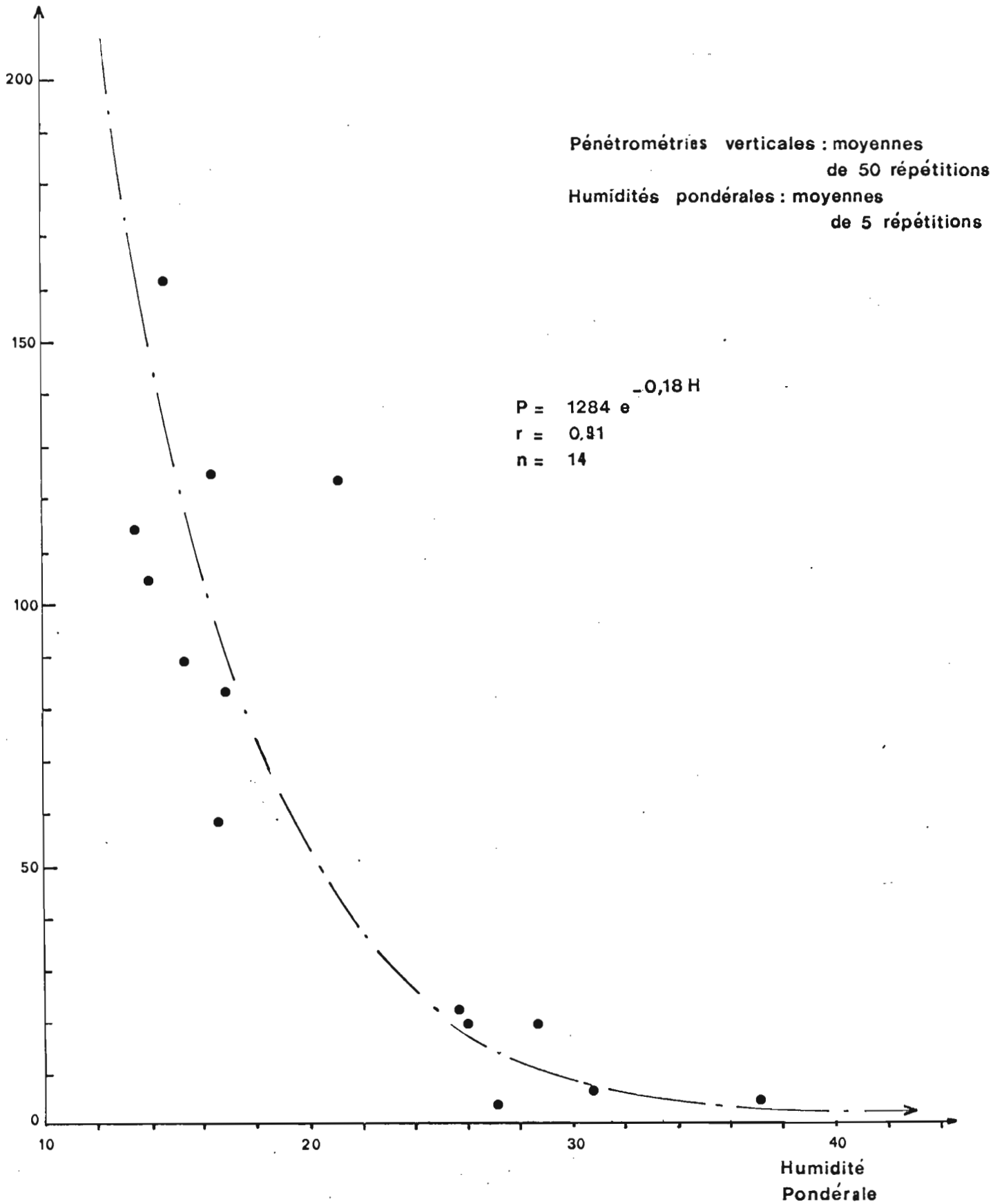
Il est possible d'établir une relation entre l'humidité et la résistance à la pénétration. En saison de pluies (figure n° 24), la dispersion entre les humidités élevées des appumites et celles bien inférieures des horizons gravillonnaires entraînent des écarts importants de résistance.

En saison sèche, (cf. figure n° 25), l'humidité de tous les horizons est comprise entre 2 et 15%. Rapportés ainsi à une humidité voisine, les différents matériaux se distinguent essentiellement par les taux de pierrosité.

Fig N° 24

Résistance à la pénétration verticale
en saison des pluies

da N/2.5 cm /1.25 cm²



Il est possible, une nouvelle fois, de séparer trois groupes d'horizons (cf. p.47) : appumites, horizons gravillonnaires et horizons profonds non gravillonnaires. Ainsi la résistance à la pénétration est dépendante de la nature de l'horizon quelle que soit la saison (les arguments des exponentielles d'ajustement sont très voisins ; les coefficients multiplicateurs varient par contre beaucoup d'un groupe d'horizon à l'autre, cf. figure n° 25).

Cette résistance est 10 fois plus faible pour les horizons gravillonnaires et cela indépendamment de la saison.

c) remarques

Ces quelques résultats nous amènent à émettre certaines remarques :

- l'utilisation, par les pédologues, d'une échelle comparative et qualitative paraît justifiée. Elle nécessite cependant l'emploi de termes plus diversifiés que : boulant, meuble et cohérent. Dans le cadre de la cartographie des sols du Nord de la Côte d'Ivoire la liste des adjectifs suivants est par exemple utilisée par les pédologues concernés (LEVEQUE, POSS, TOISON, TRINH et VALENTIN) :

boulant
très meuble
meuble
peu meuble
assez cohérent
cohérent
très cohérent (préfixe "duri")
induré (stérite).

On remarquera qu'il ne s'agit que d'une extension des adjectifs "meuble" et "cohérent".

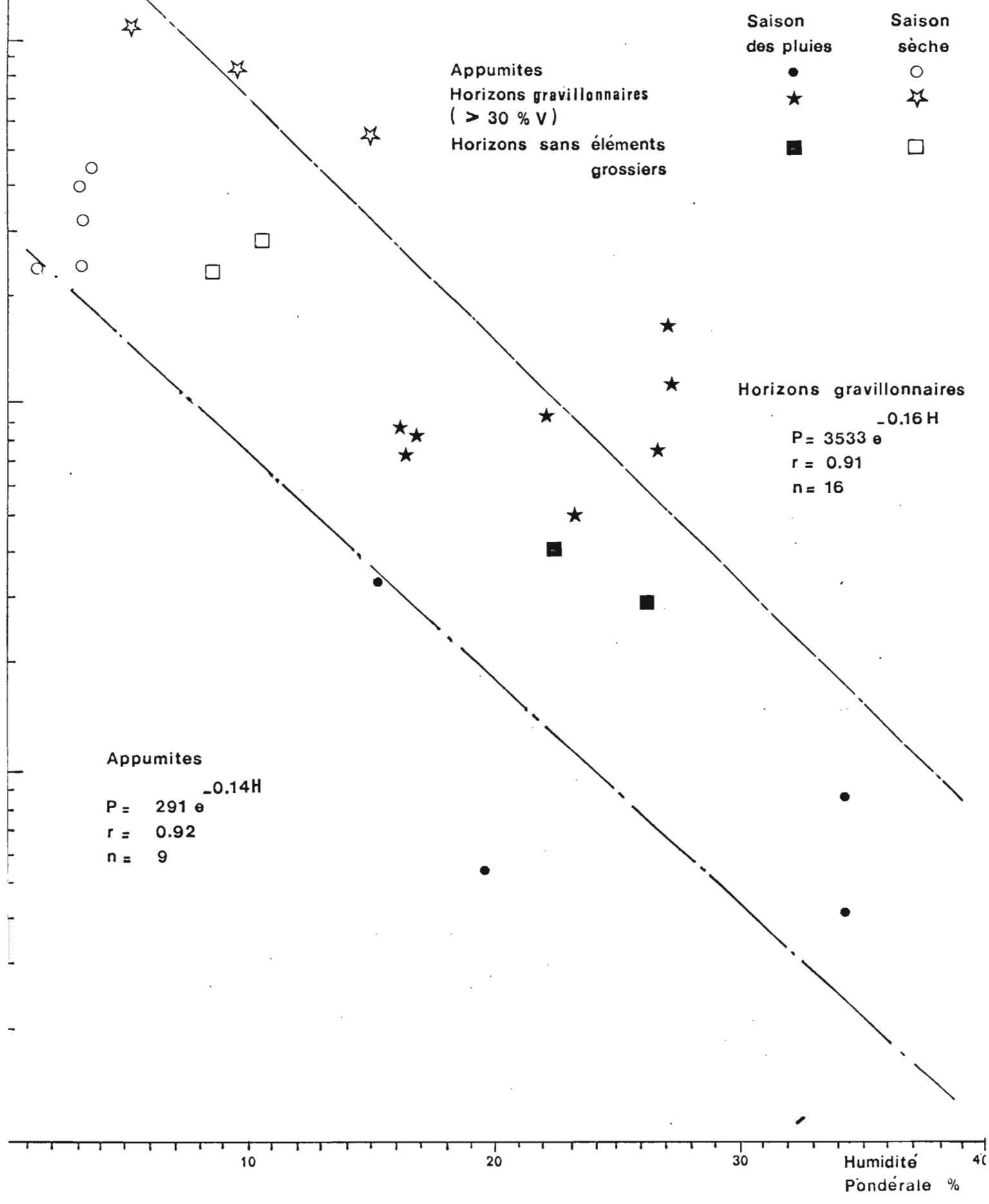
Cette échelle ne pose pas à l'heure actuelle de problèmes d'emploi. Elle demande cependant un étalonnage à partir des mesures pénétrométriques. Grâce aux fiches de description des profils remplies avant les séries de mesures, on peut établir la correspondance suivante :

| | adjectifs : | résistance à la pénétration (daN/1,25 cm ² /2,5 cm) |
|-------------------|----------------|---|
| saison des pluies | très meuble | 0- 10 |
| | meuble | 10- 100 |
| | peu meuble | 100- 500 |
| saison sèche | assez cohérent | 500-1000 |
| | cohérent | 1000-5000 |

Si l'on exprime, la résistance à la pénétrométrie en unités plus maniable : newton/centimètre-carré/centimètre, on obtient l'échelle suivante :

RESISTANCE A LA PENETRATION ET HUMIDITE

(Pénétrations horizontales : moyennes de 30 répétitions)
Humidités pondérales : moyennes de 3 répétitions



| adjectifs | résistance à la pénétration (N/cm ² /cm) |
|----------------|--|
| très meuble | 0 - 3 |
| meuble | 3 - 30 |
| peu meuble | 30 - 150 |
| assez cohérent | 150 - 300 |
| cohérent | 300 - 1500 |

Il est évident que cette échelle doit être éprouvée lors d'études ultérieures et confrontées à l'expérience des pédologues intéressés.

II.1.2. Les réserves en eau.

Nous ne disposons pas encore des différents résultats de laboratoire concernant les humidités aux différents potentiels. Nous nous contenterons de présenter les résultats de quelques mesures de terrain : capacités au champ et humidités en saison sèche.

Pour les premières, nous avons utilisé la méthode du cylindre présentée dans AUDRY et al. (1973) en effectuant 6 répétitions par horizon. Pendant le mois le plus sec (janvier P = 10 mm, ETP = 123 mm), les humidités retenues sont celles déterminées lors des mesures pénétrométriques (cf. p. 47).

Les résultats sont regroupés sur la figure n° 26 et n'apportent qu'une première approximation puisque le potentiel en milieu de saison sèche n'a pas été déterminé. Les quantités d'eau correspondant aux différences entre humidités à la capacité au champ et en saison sèche sont probablement supérieures aux réserves utiles réelles, disponibles pour les racines à des pF inférieurs à 4,2.

Il nous a paru tentant cependant de réaliser une première approximation des réserves hydriques, en tenant compte des premiers résultats concernant la densité apparente, obtenus par M. POSS (5 horizons sur 14). Nous avons affecté les densités apparentes inconnues des valeurs déterminées pour les horizons de même type.

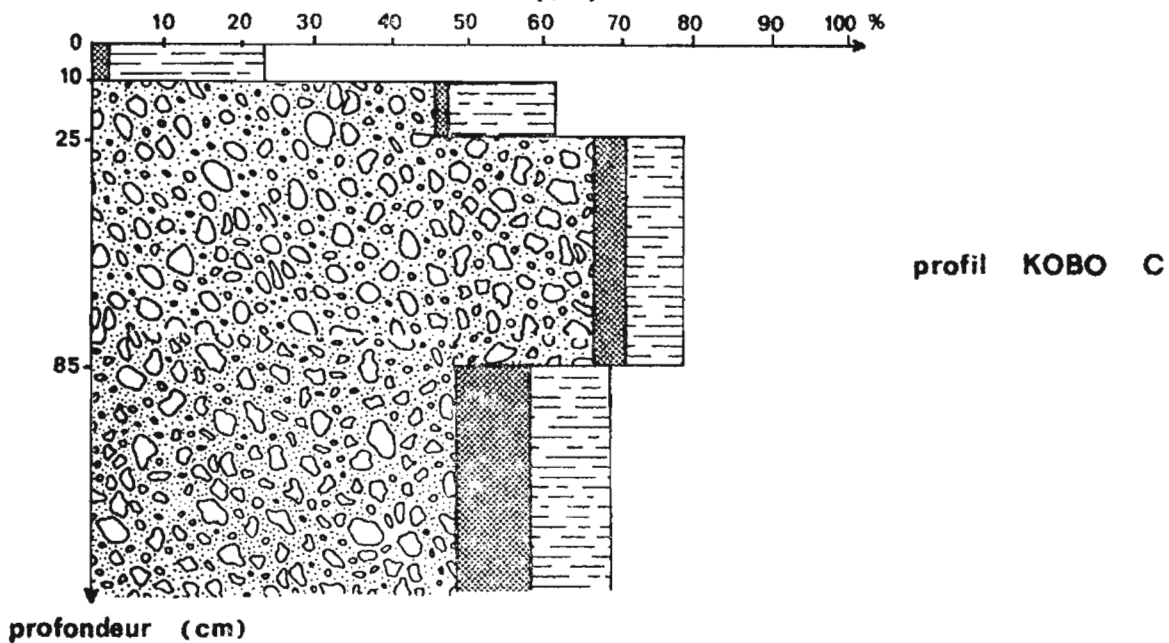
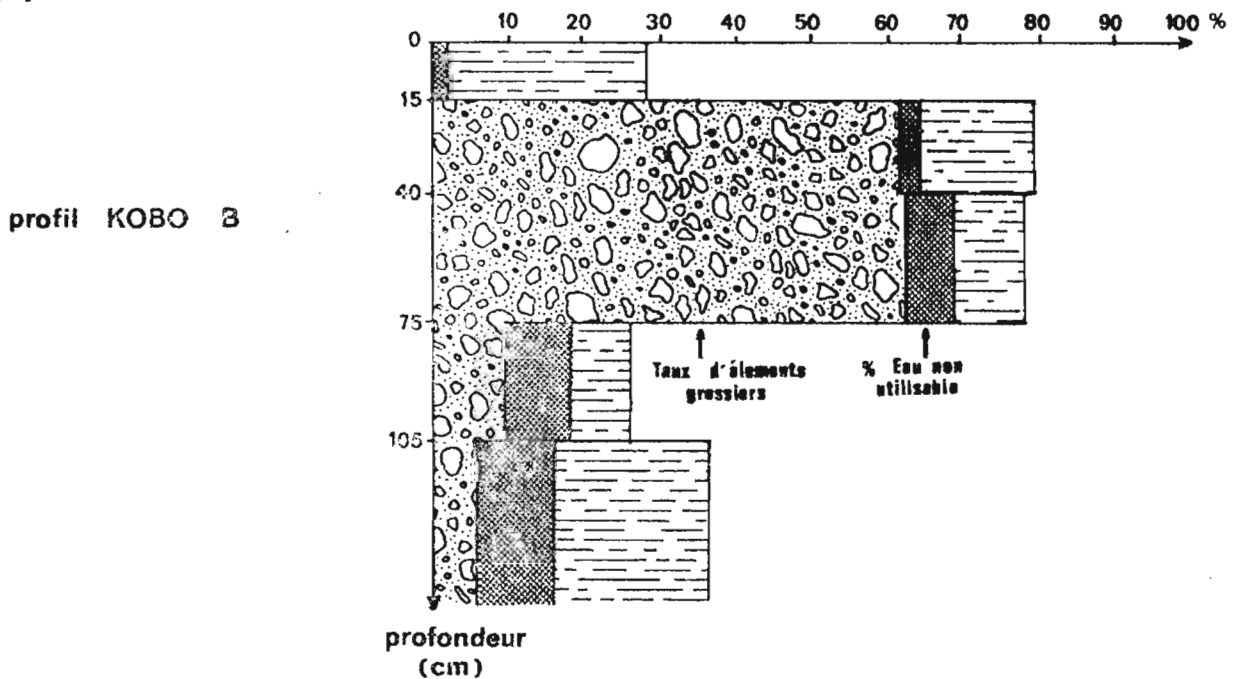
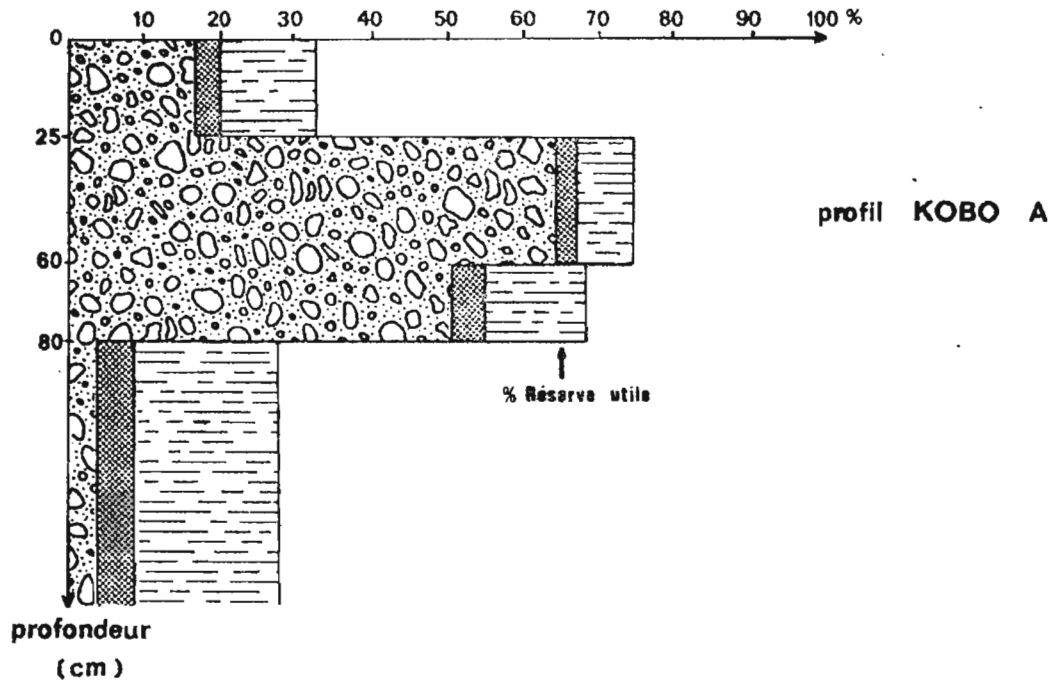
Le tableau n° 15 présente les diverses valeurs de R.U. estimée par cette méthode, pour différentes profondeurs (0,5 m ; 1,0 m et 1,5 m).

Tableau n° 15 - Estimation des réserves hydriques utiles de 3 sols sur schistes de la région de Katiola.

| Sol (cf. fig.16) | Réserve utile estimée par horizon (mm) | | | | | Réserve utile estimée (mm) sur : | | |
|---------------------|--|----|----|----|-----|----------------------------------|-------|-------|
| | Numéros des horizons | | | | | 0.50m | 1,00m | 1.50m |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | |
| A | 18 | 31 | 34 | 39 | 200 | 73 | 119 | 322 |
| B | 47 | 53 | 44 | 32 | 235 | 110 | 170 | 311 |
| C | 23 | 27 | 72 | 98 | - | 71 | 132 | 220 |

DISTRIBUTION VERTICALE DU TAUX D'ÉLÉMENTS GROSSIERS ET DES RÉSERVES EN EAU

(les pourcentages sont exprimés en % de masse de terre séchée à l'étuve)



Notons que ces réserves correspondent, pour une profondeur d'1,50 m au déficit hydrique cumulé sur les premiers mois de la saison sèche (P-ETP = 330 mm). Nous verrons plus loin (cf. p. 68 : "Interprétations agronomiques"), que ces résultats peuvent expliquer, en partie, la possibilité d'une deuxième récolte de maïs, sur les toposéquences sur schistes de la région de Katiola.

Les sols situés sur le replat sommital et ceux situés en tête de versant (cf. p. 34 "Approches descriptives") semblent avoir des réserves hydriques voisines et importantes (plus de 300 mm sur 1,50 m). Toutefois le stock d'eau disponible est plus important sur les 50 premiers centimètres pour le sol B que pour le sol A (cf. figure n° 16) où les racines ont besoin de puiser l'eau plus profondément.

Les sols du bas de versant retiennent apparemment moins l'eau (R.U. ± 200 mm pour 1,50 m) surtout dans les horizons situés au-delà d'un mètre. (Peut-on y voir une des causes de la réduction très nette de la densité arborée entre les sites B et C ?).

II.1.3. Le Ruissellement.

a) But de l'étude.

L'évaluation des quantités d'eau perdues par ruissellement intéresse particulièrement les hydrologues (détermination de l'intensité limite de ruissellement et donc de la "pluie utile"), les géomorphologues (dynamiques de versants, érosion, reptation etc...) mais aussi les agronomes. En effet lorsque l'on irrigue un sol légèrement en pente, il est nécessaire, non seulement de déterminer les doses maximales d'arrosage (pour éviter les pertes par drainage), mais aussi l'intensité maximale au-delà de laquelle apparaît le ruissellement.

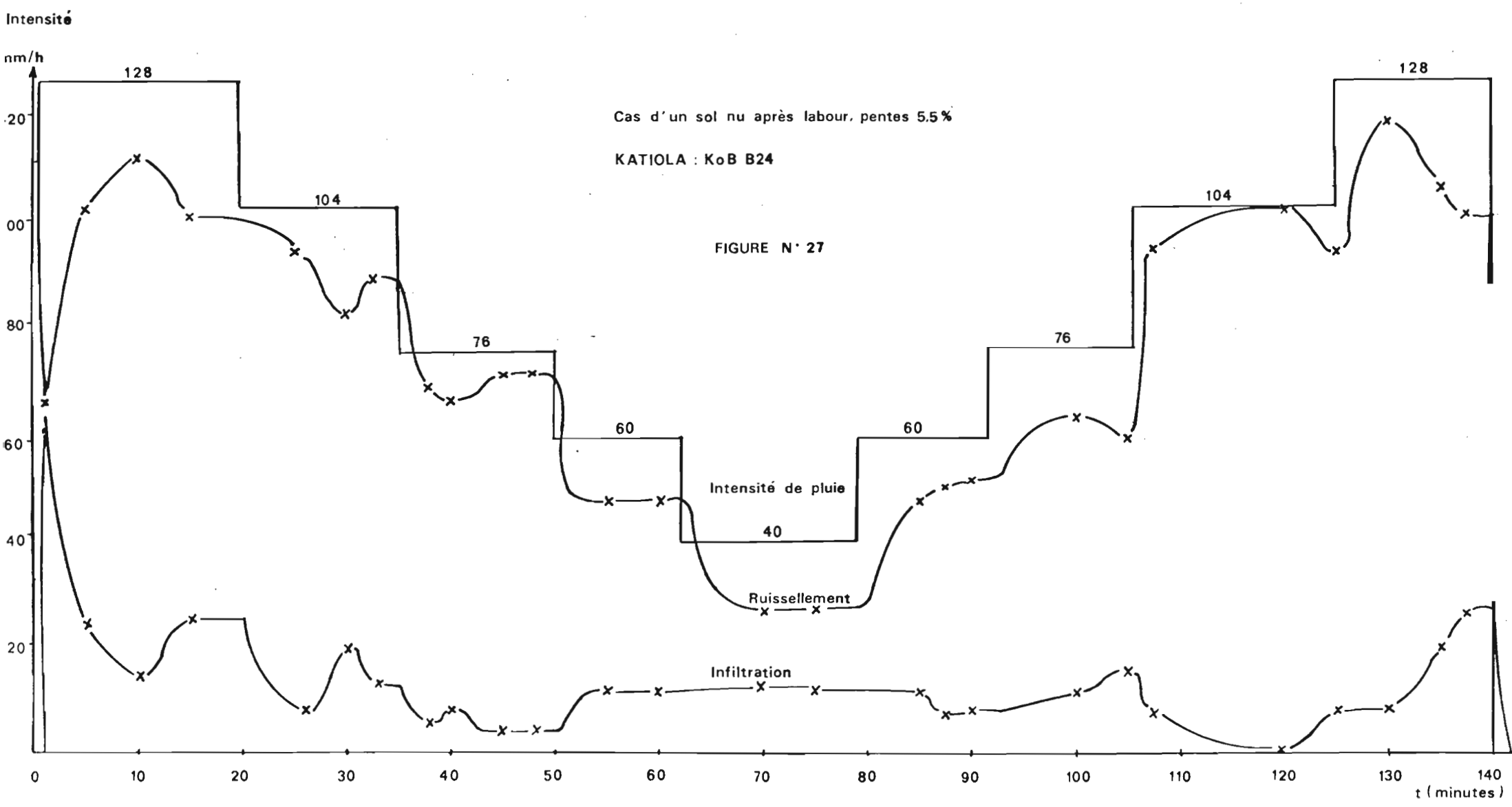
b) Protocole.

Pour cela, nous avons procédé à la simulation de 24 pluies, sur les trois sites indiqués sur la figure n° 16 (deux parcelles d'essais par site), en suivant le protocole suivant.

Les essais ont porté tout d'abord sur les deux parcelles de chaque site, laissées en végétation naturelle, en prenant soin de ne perturber, ni la parcelle, ni les 16 m² périphériques constituant l'anneau de garde (cf. p. 13). L'intensité de la première pluie de 90 minutes est constante : (120 mm/h). Elle ne correspond pas à une pluie naturelle même exceptionnelle mais sert essentiellement de pluie d'imbibition à l'averse suivante qui peut ainsi débiter dans des conditions bien définies.

Cette seconde averse est constituée de paliers d'intensité variable : elle dure 120 minutes au cours desquelles l'intensité est baissée de 120 mm/h à 30 mm/h en passant par 90, 60, 45 mm et 30 mm/h puis remontée symétriquement à 120 mm/h. Chaque palier dure environ dix minutes et permet d'obtenir le régime de ruissellement permanent correspondant à l'intensité (cf. figure n° 26).

INTENSITES DE RUISSELLEMENT ET D'INFILTRATION SOUS UNE PLUIE SIMULEE PAR PALIERS



On laisse ensuite la parcelle se ressuyer de 24 à 48 heures avant d'opérer un labour superficiel à l'aide d'un outil manuel (daba). La parcelle est ainsi défrichée et aplanie. On reproduit alors le même train de pluies que précédemment mais cette fois-ci sur sol nu labouré.

c) Résultats et début d'interprétation.

Nous donnons ici l'exemple d'un dépouillement d'une pluie en paliers (sol nu après labour, sol de mi-pente, 5,5% de pente) (cf. figure n° 26).

Il apparaît, lors du dépouillement que, pour cette pluie, l'intensité d'infiltration minimale (FN) reste du même ordre quelle que soit l'intensité de la pluie. Nous assimilons cette intensité (# 12 mm/h) à l'intensité à partir de laquelle se déclenche le ruissellement).

La précision des résultats est de l'ordre de 5 mm/h. Les principaux sont :

- la durée d'obtention des régimes permanents (après un changement d'intensité, il faut attendre au moins cinq minutes pour que le régime de ruissellement se stabilise) et que l'intensité d'infiltration (F) devienne minimale (FN) ;
- les erreurs dues aux irrégularités d'intensité : n'utilisant pas encore de bâche protectrice, l'intensité pouvait varier du fait du vent, heureusement peu violent à cette époque.

Il est à noter que l'on obtient des résultats très voisins pour une même intensité, quelle que soit l'intensité précédente (supérieure ou inférieure).

Ce type de graphique permet de déterminer les intensités d'infiltration en fonction des intensités de pluies, de la pente, du type de sol et de son degré de couverture superficielle.

Les figures n° 27 et 28 regroupent les différents résultats obtenus lors de ces essais.

Il apparaît que le nombre de sites par sol est insuffisant pour le caractériser avec une grande précision.

Une étude très détaillée de la surface du sol devrait permettre de relever d'éventuelles hétérogénéités en vue d'en tenir compte lors de la détermination du nombre de répétitions. Il semble, d'après les observations réalisées par M. COLLINET à Taï (communication orale) que cette hétérogénéité est souvent plus forte en bas plutôt qu'au sommet des toposéquences (colluvionnement).

L'examen des résultats concernant les valeurs de Rx (valeur maximale du ruissellement en régime permanent) et de FN (valeur minimale de l'intensité d'infiltration en régime permanent) met en évidence plusieurs facteurs :

- l'intensité de pluie simulée : on constate sur la figure n° 27 que l'intensité minimale d'infiltration FN, n'est pas indépendante, pour un sol donné, de l'intensité d'averse. Si elle garde une valeur voisine dans certains cas (B2, C2), on observe, par contre, une augmentation de FN en fonction de I ;
- la nature du sol et sa couverture : nous donnons au tableau n° 16 les intensités d'averses I1 à partir desquelles apparaît le ruissellement.

F_N
(mm/h)

RELATION ENTRE LES VITESSES D'INFILTRATION ET LES INTENSITES DE PLUIES SIMULEES

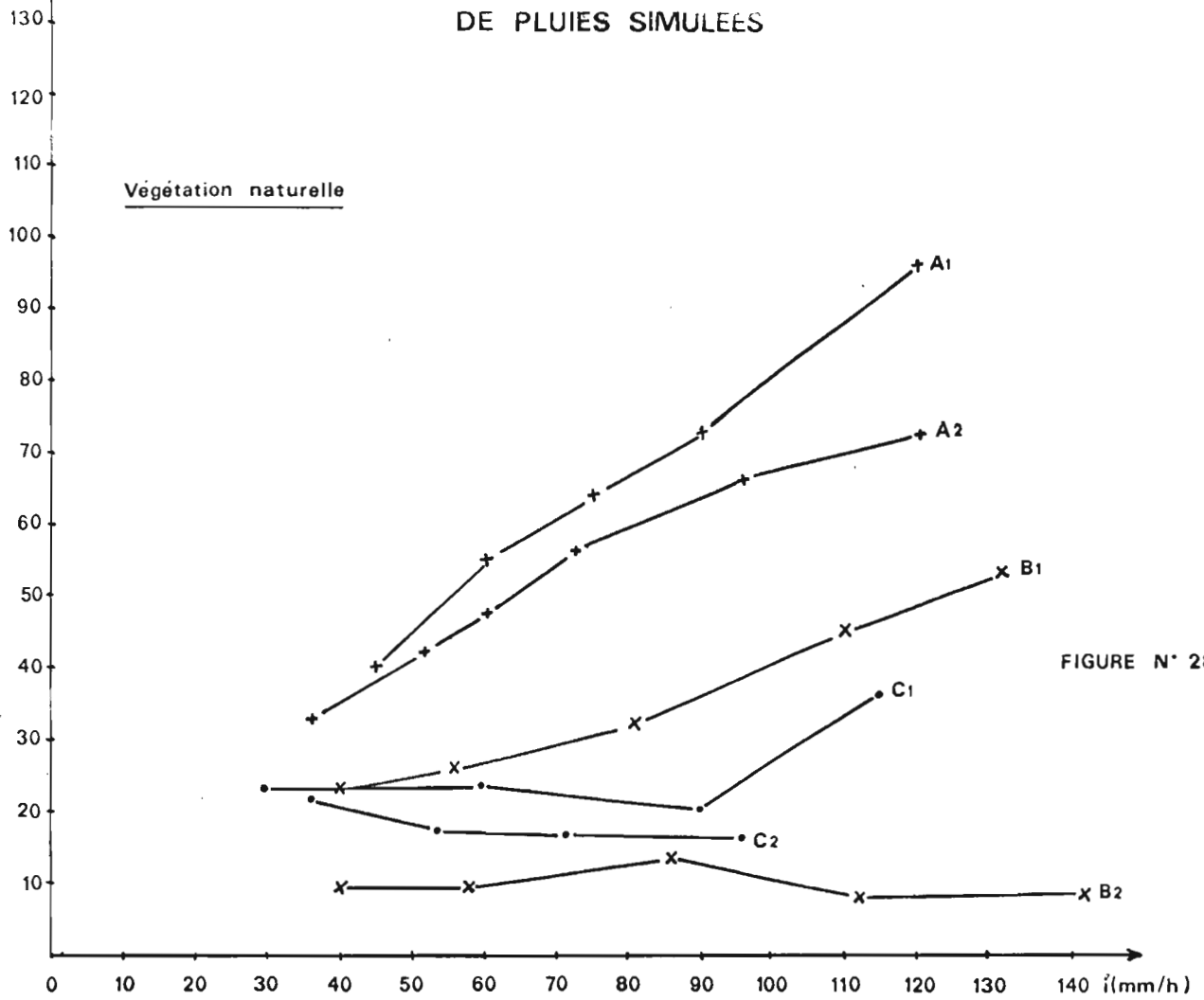


FIGURE N° 28

| Sols | Pentes |
|------|--------|
| A1 | 1.0 % |
| A2 | 1.5 % |
| B1 | 5.7 % |
| B2 | 5.5 % |
| C1 | 4.7 % |
| C2 | 3.8 % |

F_N
(mm/h)

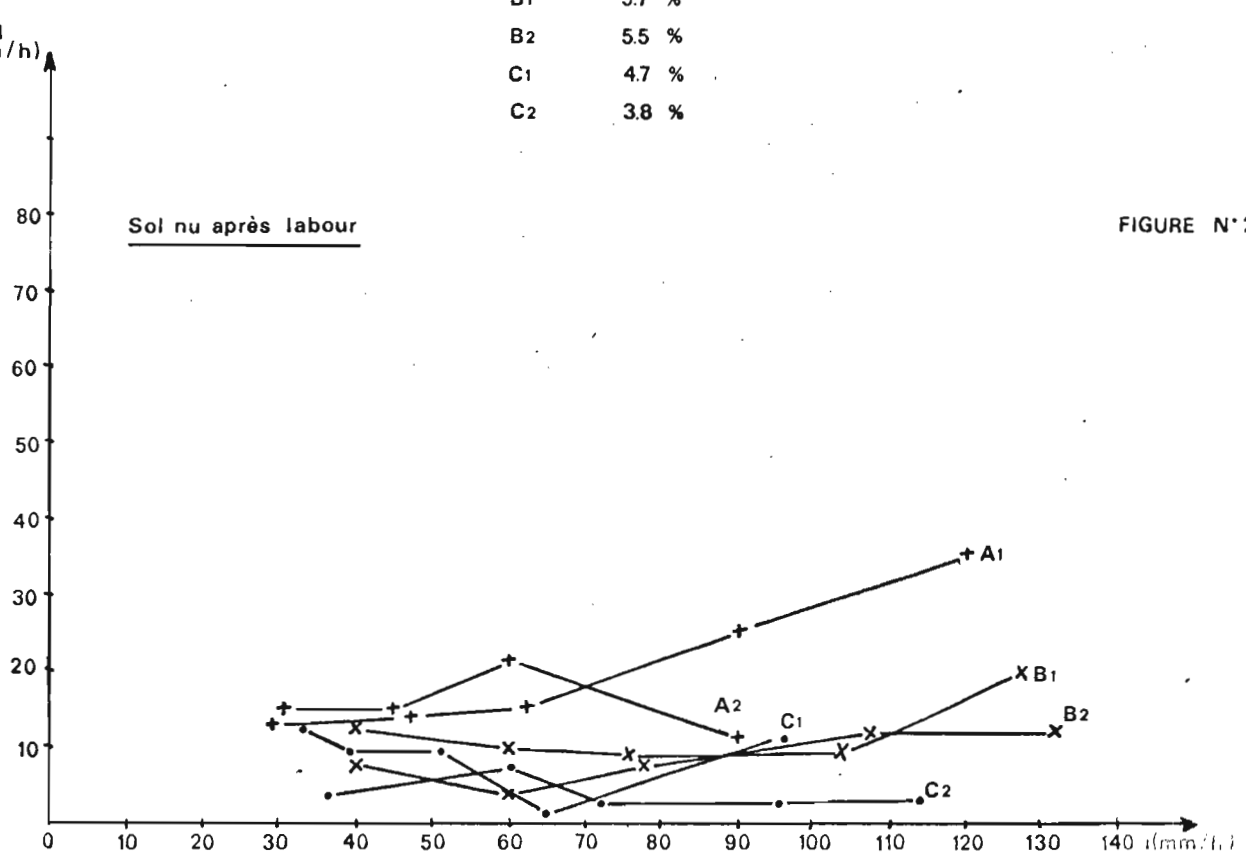


FIGURE N° 29

I_1 est par définition l'abscisse du point où la droite F_N intercède la première bissectrice ($F_N=I$). Cette intensité limite de ruissellement peut-être déterminée avec une certaine précision si les valeurs expérimentales s'ajustent effectivement sur une droite (cf. figure N°29) (encore est-il nécessaire que ce nombre de points soient suffisants). En fait, ce cas ne se présente que lorsque l'état hydrique du sol est très voisin pour les différents points (cf. p.47). Dans le cas contraire, on prend les moyennes des valeurs de $I-R_x$, obtenues pour chaque intensité.

| | A | B | C |
|----------------------|----|----|----|
| Végétation naturelle | 22 | 11 | 21 |
| Sol nu labouré | 13 | 11 | 8 |

Tableau n° 16 - Incidence de la nature du sol et de son couvert sur l'intensité limite de ruissellement I_1 (mm/h) (moyennes, par sol, des résultats obtenus sur les deux sites expérimentaux).

Il est intéressant de comparer ces résultats aux valeurs des perméabilité Pioger, déterminés par M. POSS, sur ces horizons superficiels (médianes de 6 répétitions) :

sol A : 75 cm/h
 sol B : 30 cm/h
 sol C : 60 cm/h.

Ainsi l'ordre de grandeur n'est pas du tout le même, mais le classement, sous végétation naturelle, reste identique pour le test Pioger et sous infiltromètre, bien que les phénomènes mesurés ne soient pas les mêmes (cf. p.8 "Approches méthodologiques").

Il est intéressant de constater que les intensités limites de ruissellement évaluées sous pluies simulées sont proches des intensités limites réelles. Opérant en saison des pluies (les sols sont alors proches de la capacité champ), on a assisté, sous une pluie naturelle, d'intensité 19 mm/h (enregistrée sur le bac pluviométrique de l'infiltromètre) à la formation des premières flaques sur le sol C, alors que l'intensité limite de ruissellement déterminée sur ce sol sous végétation naturelle est de 21 mm/h.

Notons également que les hydrologues utilisent fréquemment I_1 pour préciser les "pluies utiles" c'est-à-dire les pluies dont l'intensité est supérieure à I_1 . Mais la valeur utilisée pour l'étude d'un bassin versant est la même quels que soient les sols (différents sur une telle surface) et leurs couverts. Elle est le plus souvent déterminée d'une manière très empirique. Ainsi, lors de l'étude du bassin versant de Korhogo (superficie 3,63 km²), par MOLINIER (1971), la valeur utilisée de I_1 était de 18 mm/h, mais ne résulte pas d'une expérimentation précise.

Les figures n°s 27 et 28 font apparaître l'influence du couvert sur les intensités d'infiltration : I_1 notamment diminue considérablement (sauf pour le sol B) après destruction de la végétation naturelle et labour superficiel.

Ces résultats laissent entrevoir les conséquences d'une éventuelle mise en valeur : une nette diminution des coefficients d'infiltration (entraînant des pertes en eau plus importantes par ruissellement, et une augmentation des risques d'érosion).

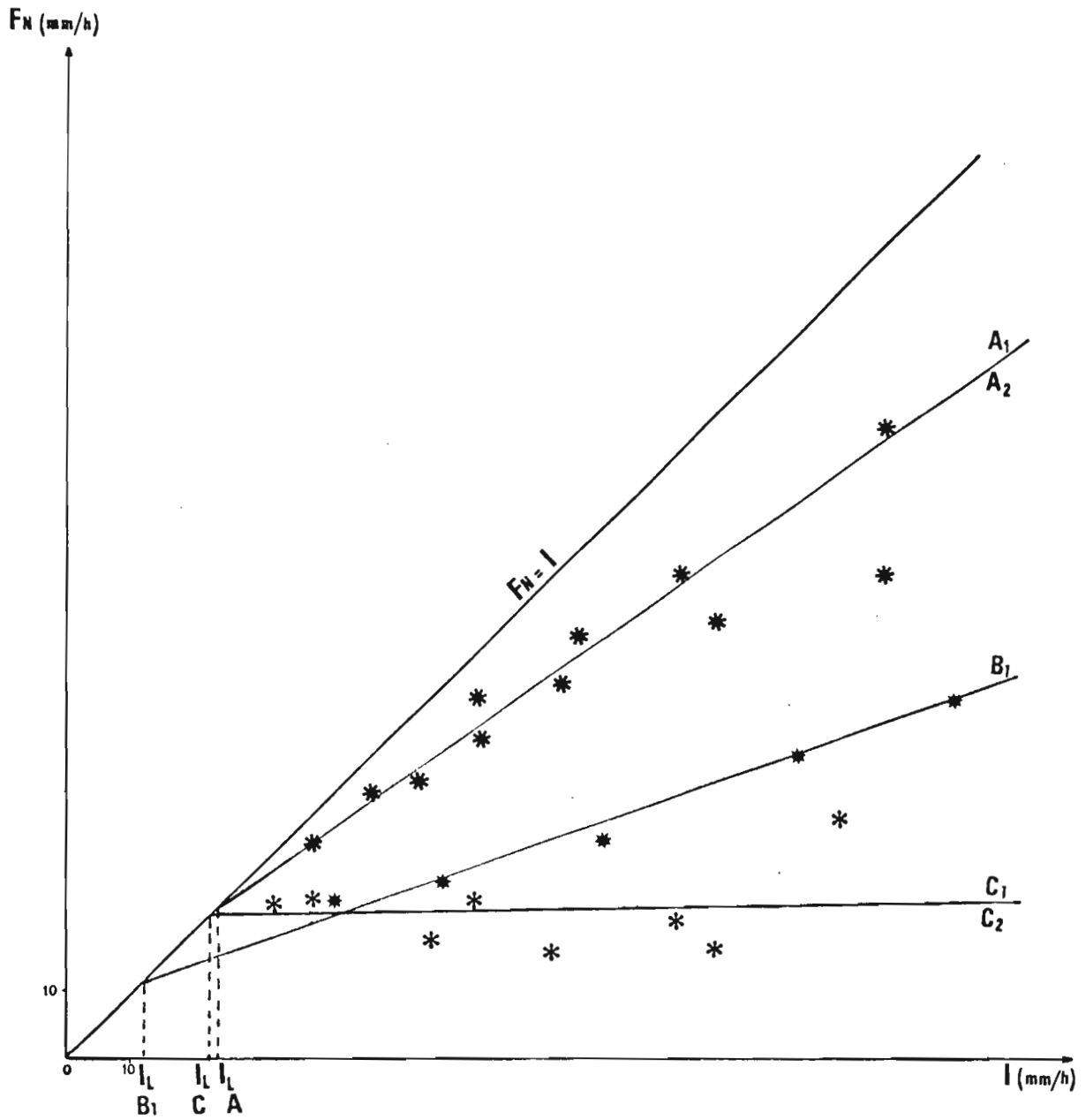


FIG. N° 30 : Détermination des Intensités limites de Ruissellement I_c

TROIS EXEMPLES SOUS VEGETATION NATURELLE :

A : $F_N = 0,71I + 6,25$ $R = 0,95$ $n = 11$

B₁ : $F_N = 0,34I + 8,21$ $R = 0,99$ $n = 5$

C : $F_L = \frac{M^8}{1} \frac{F_N}{8}$

La couverture végétale du sol entraîne une hétérogénéité quant à la perméabilité du sol : les tiges par exemple favorisent localement l'infiltration. Pour une parcelle sous végétation naturelle LAFFORGUE (1977) montre, à l'aide d'une modélisation mathématique, que la courbe F_N est constituée, pour une certaine gamme d'intensités, d'un segment de droite de pente inférieure à 1 (cf. figure n° 30). La différence $I_h - I_1$ dépendrait du taux de couverture végétale.

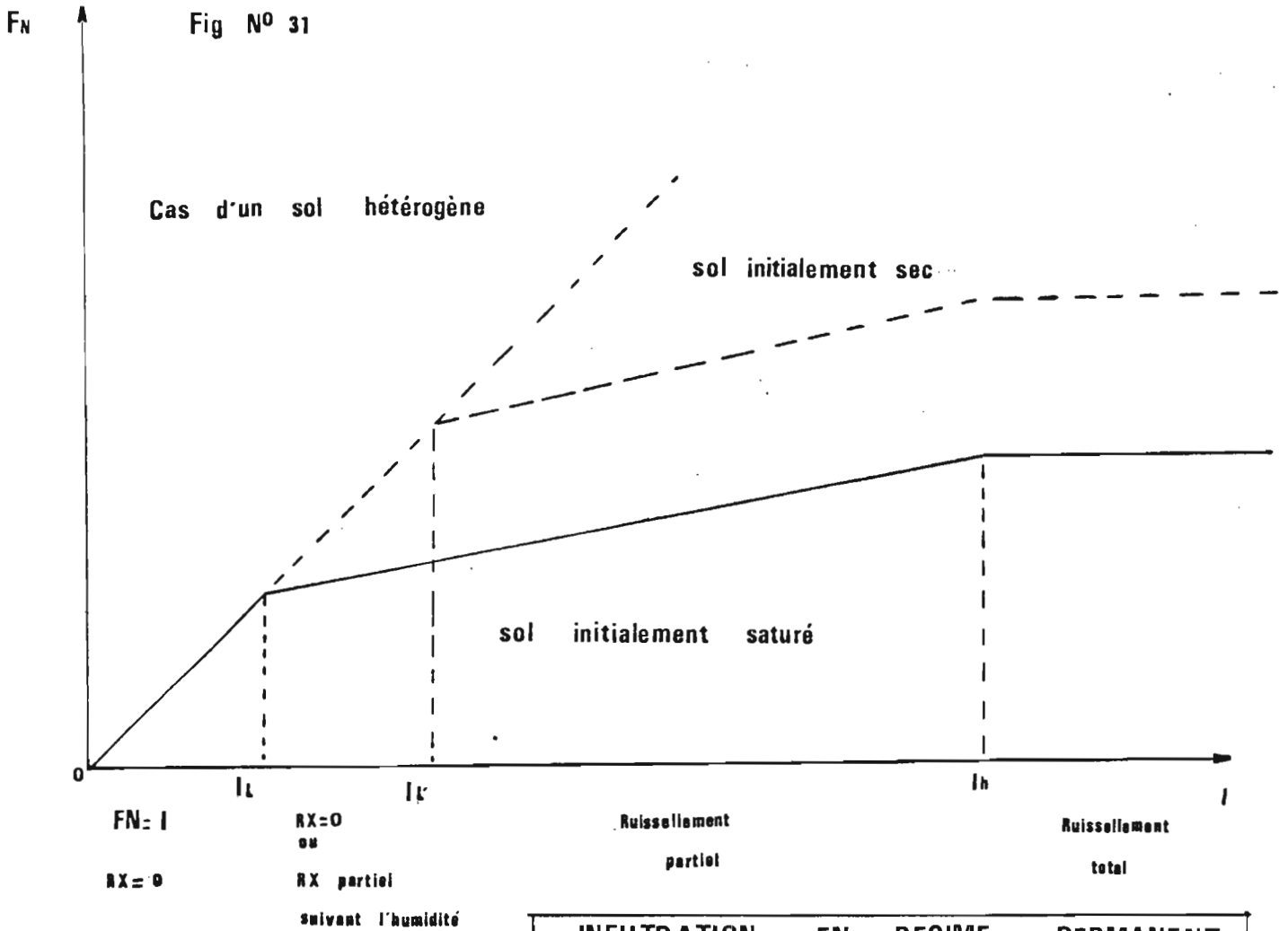
Sur un sol labouré puis aplani, que l'on peut considérer, par contre, comme homogène, l'étude théorique montre que l'intensité d'infiltration est indépendante de l'intensité d'averse et reste constamment égale à I_1 (cf. figure n° 31).

Il est satisfaisant de constater que les courbes expérimentales (figures n°s 27 et 28) sont proches des courbes théoriques de LAFFORGUE (1977) (figures n°s 30 et 31). On remarquera toutefois certaines différences que l'on peut attribuer à l'action de plusieurs facteurs :

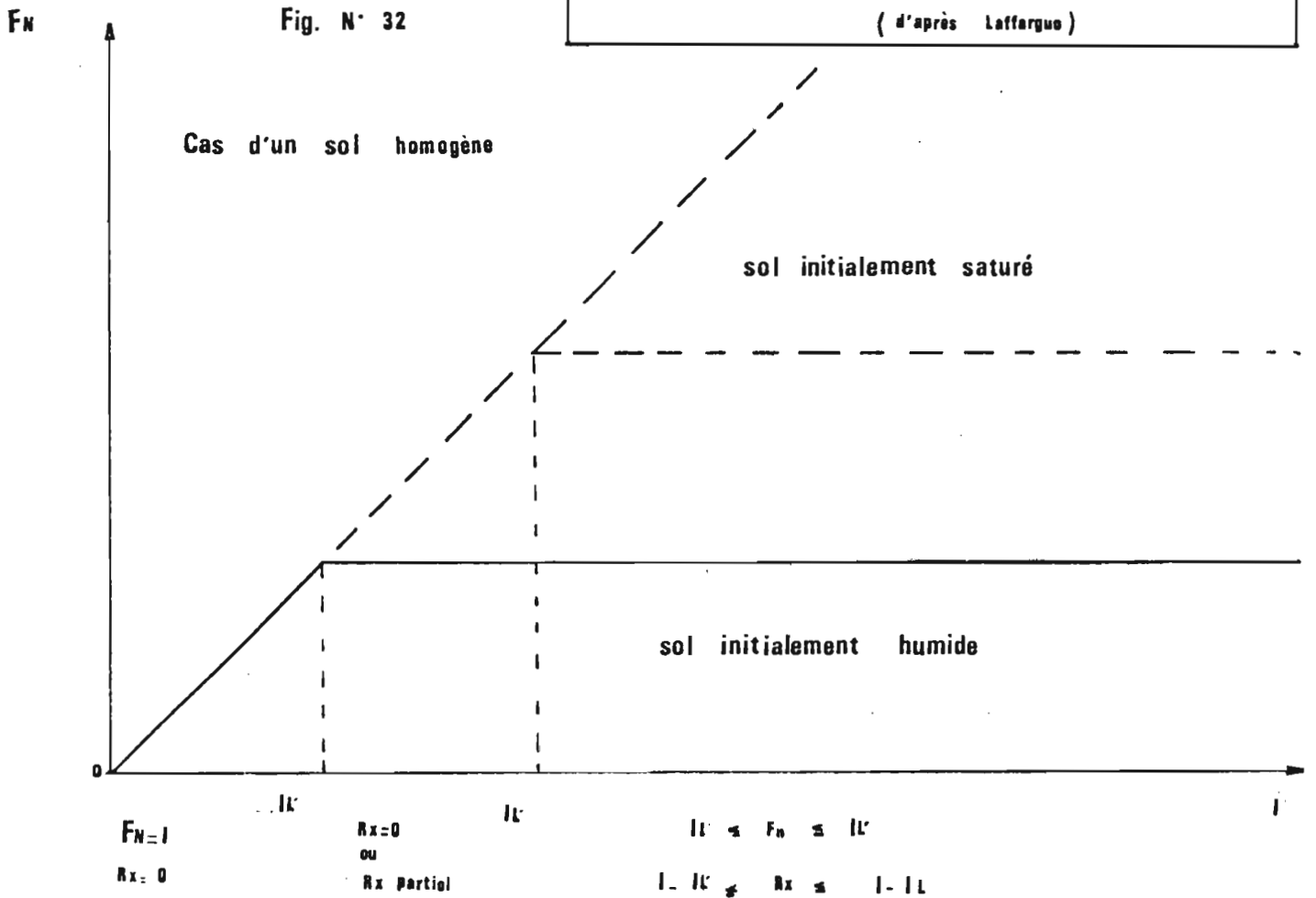
- l'état d'humectation initial du sol : une étude fine des humidités préalables aux essais n'a pas été réalisée, les sols étant proches de la capacité au champ (saison des pluies). Il semble par conséquent plus intéressant d'utiliser l'infiltromètre à l'avenir en saison sèche ; il est alors possible de préciser les deux courbes enveloppes, définies par LAFFORGUE, correspondant à l'état sec, et à l'état saturé. On obtiendrait ainsi l'intervalle des valeurs de F_N et de R_x , pour chaque intensité de pluie, quelle que soit la saison ;
- la pente : il ne semble pas que l'on puisse tirer de conclusion, à la vue des résultats, quant à l'influence de la pente sur le ruissellement. Sous végétation naturelle, les sols les moins en pente (A1 et A2) ruissellent très peu, mais ce sont aussi les sols ayant la plus forte couverture herbacée. Ces résultats d'ailleurs ne semblent pas se confirmer après labour ;
- la dynamique de surface : la surface du sol évolue au cours de la pluie (cf. pp. 55-56), (tassement, formation progressive d'une pellicule de battance), or il est probable que ces modifications interviennent sur les intensités d'infiltration. Ainsi, pour les sols homogènes, sensibles à la battance, il pourrait y avoir une diminution progressive de l'intensité d'infiltration lorsque l'intensité d'averse augmente (droite à pente négative et non horizontale comme le prévoit le modèle de LAFFORGUE, 1977). Cependant de tels phénomènes ne semblent pas s'être produits dans le cas de cette étude.

Ainsi, la perméabilité d'un sol n'est pas un caractère fixe. Exprimée en intensité d'infiltration (nombre de mm infiltrés par unité de temps) elle est étroitement liée à la couverture du sol (et donc à son hétérogénéité), à l'intensité d'averse (sauf pour les sols homogènes) et à l'humidité initiale du sol. D'autres facteurs interviennent probablement : pente, sensibilité au tassement et à la battance.

L'utilisation de l'infiltromètre à aspersion permet la détermination des coefficients de ruissellement en fonction des intensités de pluies et de l'époque de l'année (état d'humectation du sol). Il serait intéressant de pouvoir étayer de telles études, d'analyses fréquentielles des pluies en fonction de leur intensité, afin d'établir des protocoles expérimentaux les plus proches possibles des conditions naturelles.



INFILTRATION EN REGIME PERMANENT
CAS THEORIQUES
(d'après Laffargue)



Ajoutons que des mesures d'humidités ont été réalisées sous chaque pluie, et pendant la phase de ressuyage, par M. POSS, à l'aide d'une sonde neutronique, tous les 20 cm, jusqu'à une profondeur de 2,00 m. Les différents résultats n'ont pas, jusqu'ici, été dépouillés.

II.1.4. Erodibilité.

A titre d'essai, nous avons voulu tester l'infiltromètre comme simulateur de pluies susceptible d'être utilisé pour l'étude de l'érosion.

L'analyse de l'effet longueur de pente (cf. pp 89-100) montre qu'une certaine distance est nécessaire pour qu'apparaisse un ruissellement doué d'une énergie cinétique suffisante pour induire la formation de griffes (cisaillement). Cette longueur minimale est de 2 m pour les sols issus de sables tertiaires. (cf. p.). Il serait donc tout à fait illusoire d'utiliser l'infiltromètre pour déterminer les ordres de grandeurs de pertes en terres/ha sous diverses intensités.

Par contre, il semble que de tels appareils soient très pratiques pour approcher la valeur du facteur K, érodibilité du sol, utilisé dans l'équation de Wischmeier et Smith (1960). Ainsi, De Meester, Emson et Jungerius (1977) estiment que des micro-parcelles d'un mètre carré, arrosées par un petit simulateur portatif, offrent des possibilités très intéressantes.

C'est pourquoi, nous avons procédé à des prélèvements d'échantillons de turbidité sur les eaux de ruissellement : une fois le régime permanent atteint, sous les pluies d'intensité constante (120 mm/h). Ce test souligne l'importance bien connue de la couverture du sol quant à sa protection : cf tableau n° 17.

| Sols | Végétation naturelle | Sol nu après labour |
|------|----------------------|---------------------|
| A | - | 845 |
| B | 43 | 1337 |
| C | 93 | 1087 |

Tableau n° 17 - Turbidités des eaux de ruissellement en fin de pluie (mg/l). (Intensité : 120 mm/h, durée : 90 mn).

Sous végétation naturelle, les pertes en terres sont très faibles bien que le ruissellement ne soit pas négligeable ; elles dépendraient de la densité du couvert herbacé qui jouerait un rôle de filtre (cf. "effet hétérogénéité de surface pp. 85-101).

Une fois la végétation détruite et le sol labouré, la pente semble devenir le facteur prépondérant.

Il ressort de ces tests d'érodibilité la nécessité de procéder à des mesures sur sols cultivés et non uniquement sous végétation naturelle. Il apparaît en effet que l'étude du milieu naturel ne laisse pas supposer convenablement son évolution en cas de mise en valeur (le classement des terres changent du fait de leur évolution).

II.1.5. Dynamique de surface.

Nous avons tenté de suivre l'évolution de la surface du sol par des mesures pénétrométriques (50 répétitions par cas) réalisées :

- 1 - après les pluies sur végétation naturelle
- 2 - après labour
- 3 - après les pluies sur sol labouré.

La méthode utilisée, bien que lourde, paraît assez sensible, puisque l'on obtient les résultats suivants : (tableau n° 18)

| | (1) | (2) | (3) |
|-------|-----|-----|-----|
| Sol A | 4,2 | 0,8 | 2,2 |
| Sol B | 4,5 | 1,9 | 2,1 |
| Sol C | 4,6 | 2,3 | 2,8 |

Tableau n° 18 - Résistance à la pénétration (daN/1,25 cm²/2,5 cm), des sols : évolution sous les pluies simulées.

On observe une diminution importante de la résistance à la pénétration lors du labour ($\geq 50\%$). L'effet de deux pluies simulées (tassement sous l'action des gouttes de pluies) est perceptible, mais peu marquée : (de 0,2 à 1,4 daN/1,25 cm²/2,5 cm). Il est utile de préciser que ces mesures ont été effectuées à la capacité au champ. Il est probable qu'en séchant la cohésion de la pellicule de battance aurait été plus marquée. En effet, l'observation de la surface, notamment sous la pluie après labour, montre une évolution très rapide qui se traduit par une diminution brutale de l'intensité d'infiltration (cf. figure n° 32) : en trente minutes, sous une averse de 140 mm/h, le sol labouré, devient plus imperméable qu'avant défriche. L'énergie cinétique correspondante est de 1834 Joules/m², soit l'énergie cinétique cumulée d'une pluie naturelle de deux heures et d'intensité 30 mm/h (pluie non exceptionnelle).

Il serait intéressant d'étudier la dynamique de cette surface à l'aide de moyens plus appropriés. Nous pourrions par exemple utiliser des cadres munis d'aiguilles comme le préconise DEXTER (1977), pour l'observation du micro-relief des sols cultivés.

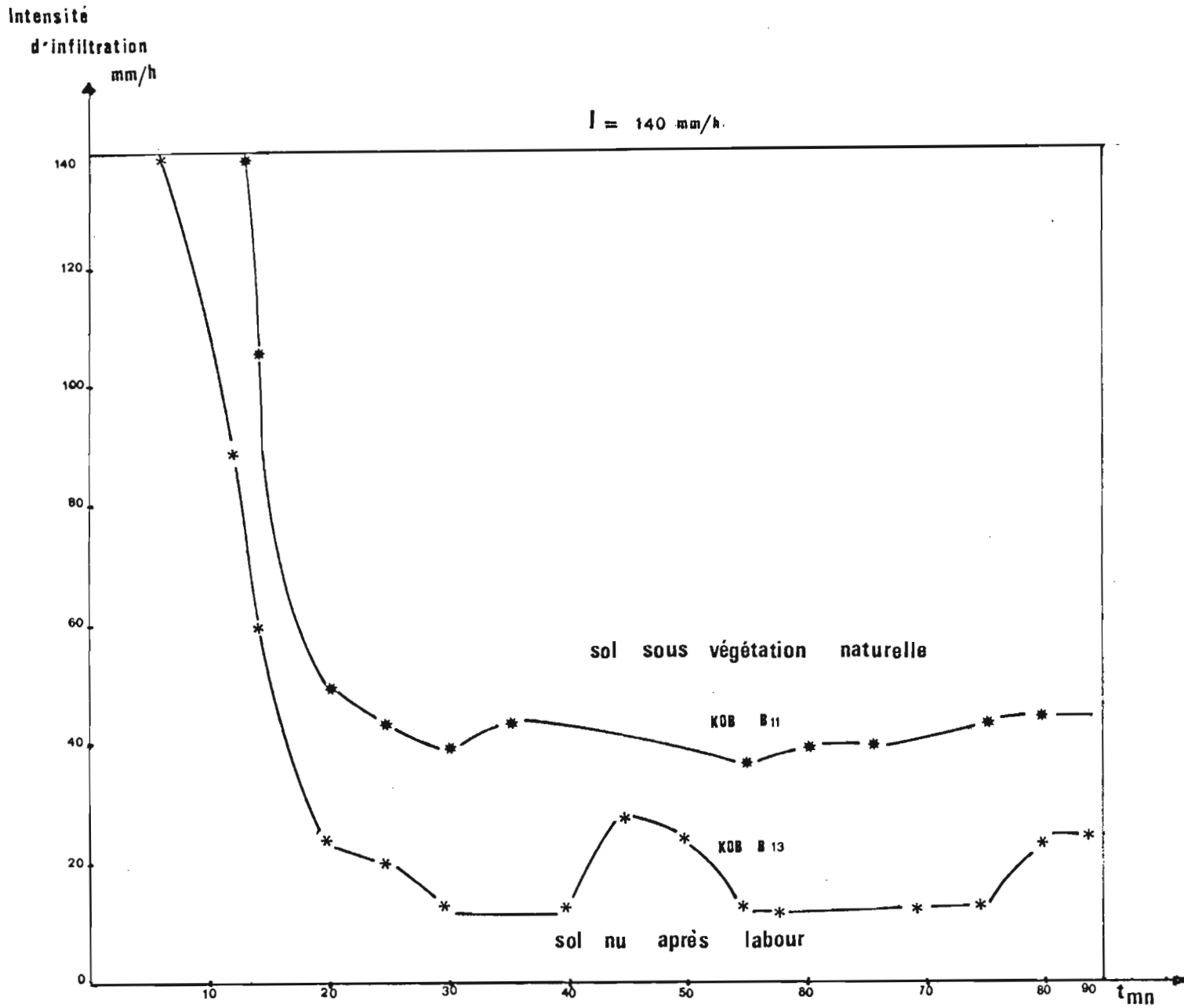
Lors de cette première série d'essais nous avons procédé à des prélèvements de parallélépipèdes de sol en vue d'une imprégnation permettant l'étude micromorphologique (mais, ces échantillons ne sont pas encore prêts). Pour faciliter l'interprétation de la dynamique superficielle, nous avons confié également divers échantillons prélevés sur les appumites au laboratoire d'analyses afin qu'ils soient soumis aux test d'Atterberg, mais les résultats n'ont pas encore été communiqués.

II.2. Approches biologiques.

Si les déterminations physiques sont indispensables en ce qui concerne les relations sol-eau, les tests biologiques permettent souvent de prévoir d'une manière rapide la réaction du matériel vivant à tel où tel milieu. Ainsi quelques mesures ou comptages suffisent parfois à évaluer la "fertilité" d'un sol. En effet, certains

FIG N° 33 : VARIATION DE L'INTENSITE D'INFILTRATION
SOUS PLUIE SIMULEE D'INTENSITE CONSTANTE

DEUX EXEMPLES :



KOB B 11 : $F_N = 44 \text{ mm/h}$

$k_r = 69\%$

KOB B 13 : $F_N = 18 \text{ mm/h}$

$K_r = 86\%$

individus vivants (lombrics, bactéries nitrifiantes) sont d'excellents indicateurs de milieu. Leur présence n'est assurée que par la convergence de facteurs très nombreux tant physiques que chimiques.

Nous avons voulu vérifier cette hypothèse en comparant des mesures biologiques (populations de lombrics et vitesses de nitrification) aux densités racinaires et à la végétation naturelle.

II.2.1. Populations de vers de terre.

a) But de l'étude.

L'action des vers de terre sur la fertilité des sols à maintes fois été démontrée (cf. BACHELIER, 1963). Leur densité est assez corrélée avec le pH, le calcium échangeable, la stabilité structurale, facteurs favorables à la mise en culture et à la conservation des sols.

b) Protocole.

En vue d'évaluer les populations de vers de terre, nous n'avons pas suivi la méthode des comptages de turricules (ROOSE, 1976) qui nécessite la présence de turricules suffisamment gros et nombreux. Travaillant pendant le mois le plus arrosé, il a paru plus séduisant de suivre la technique présentée par BACHELIER (1963) : on dépose, au hasard, un cadre de 1m x 1m sur le sol que l'on dénude, avant de l'arroser uniformément d'une solution formolée (40 ml de formol du commerce dilués dans 5 litres d'eau). On procède alors au prélèvement des vers qui apparaissent en surface. On réitère l'arrosage et l'extraction environ 15 minutes après le début de l'essai. Nous avons procédé à 5 répétitions par sol (5 sites).

Cette méthode ne permet pas de connaître les populations totales des vers de terre, certaines espèces n'étant pas extraites au formol. Elle est cependant largement utilisée pour obtenir des valeurs comparatives et a donc valeur de test.

c) Résultats.

Les résultats sont regroupés sur la figure n° 33. Pour chaque site est indiquée la distribution en classe de taille (de 0 à 80 mm). Le mode est commun aux quatre sites (classe 20-40 mm). S'agit-il de mode correspondant à la taille adulte de l'espèce la plus représentée ou celui qui se rapporte à un même degré de développement en cette période pluvieuse ?

Si l'on fait abstraction du sol hydromorphe (sol D) où la densité des vers est assez forte (104/m²), il semble que l'importance des populations décroisse du haut (sol A) en bas (sol C) de la toposéquence. Si l'on désigne par N, la densité par m², N varie entre 101/m² en A, à 50/m² en C (cf. localisation des sols sur la figure n° 16). Ainsi la population diminuerait de moitié lorsque la végétation passe de la forêt claire sèche à la savane arborée (cf. figure n° 18).

nombre
de
vers/m²

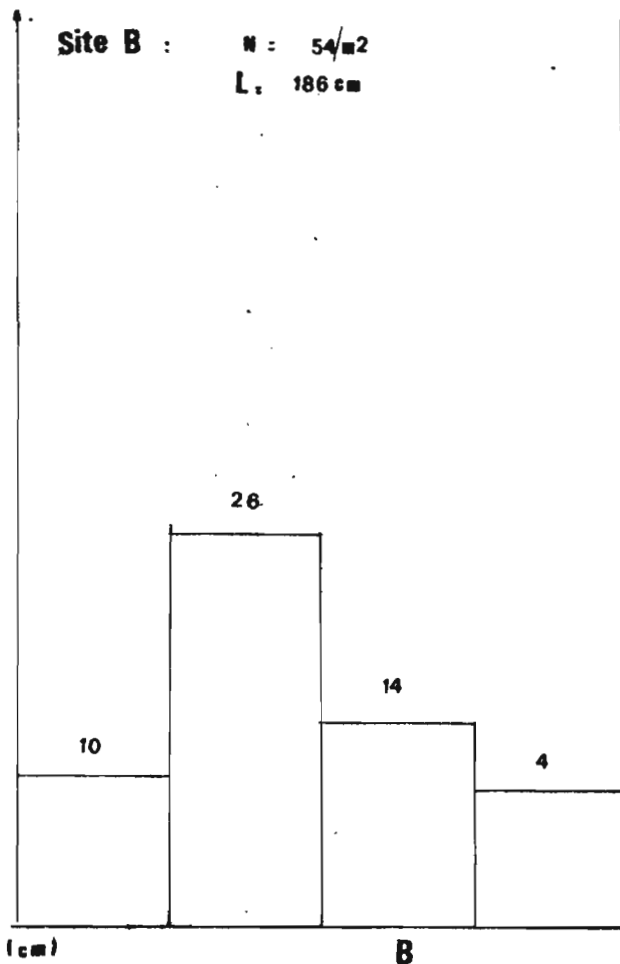
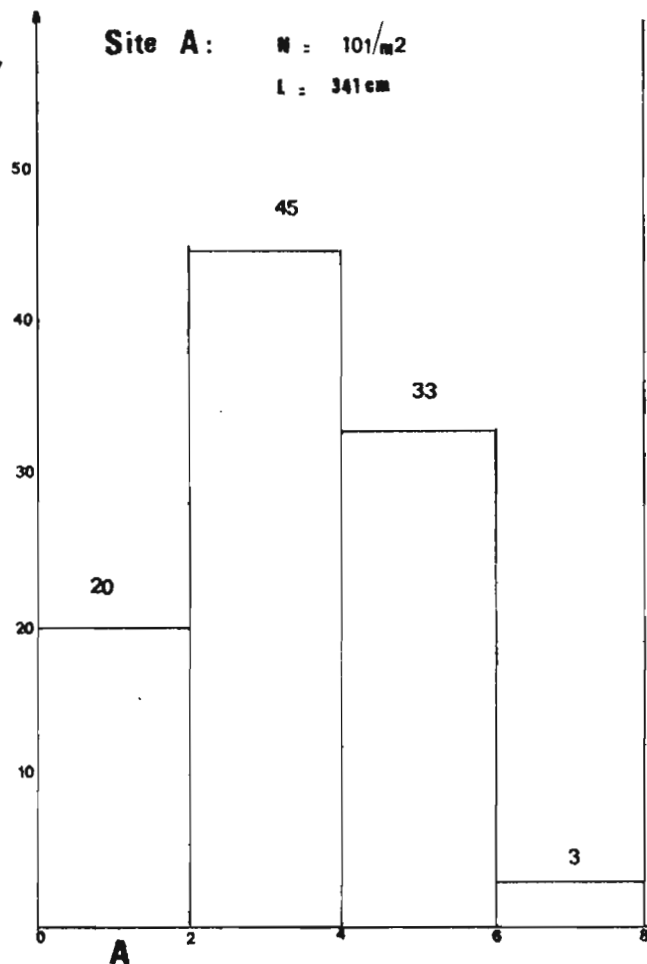
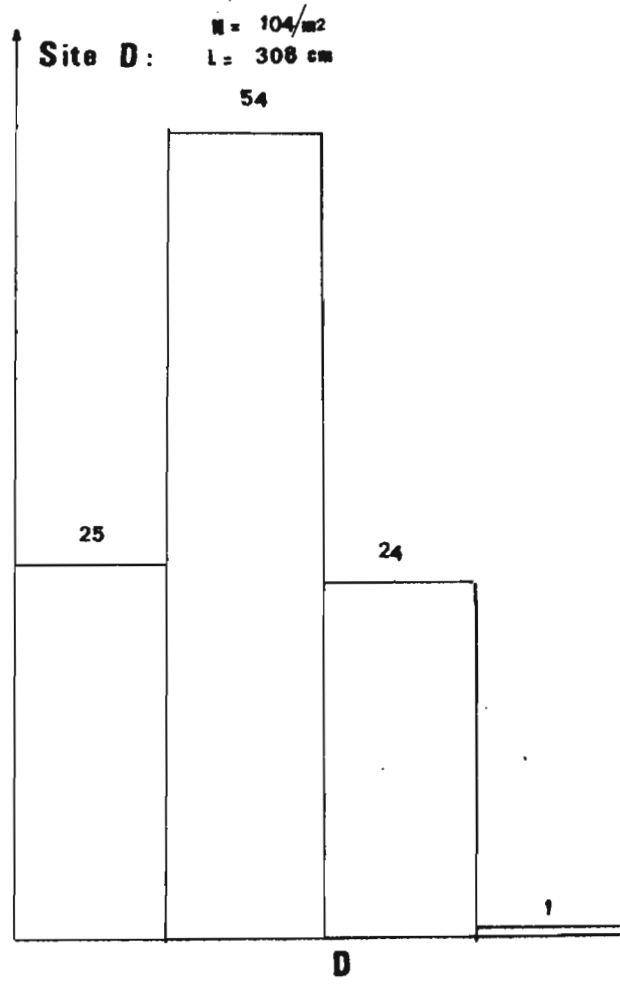
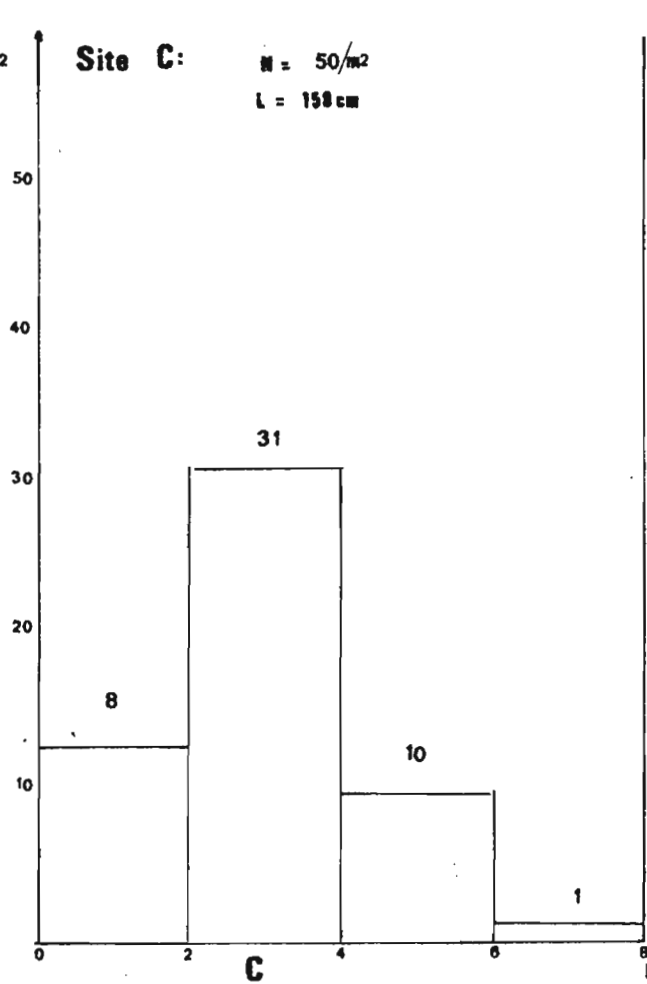


FIG. N° 35 : POPULATIONS DE VERS DE TERRE (SAISON DES PUIES)

nombre
de
vers/m²



Nous avons également reporté les résultats en longueur totale, désignée par L : il s'agit de la somme des longueurs des vers prélevés sur 1 m². Cette valeur nous semble intégrer à la fois le nombre de vers et leur taille ; elle exprime davantage leur importance dans le sol que la simple densité N. Les valeurs de L varient de 341 cm en A ; à 150 cm en C.

Des milieux aussi différents que celui du sol A (sous forêt claire sèche) et celui du sol D (sous savane herbeuse de flat hydromorphe) présentent des populations de vers de terre dont les distributions et les densités sont voisines. Il faut y voir probablement l'expression de conditions favorables : sol humide et aéré (riche en bases ?) pour le sol A, sol hydromorphe mais non asphyxique en D.

II.2.2. Activité des germes nitrificateurs.

Il a paru tout aussi digne d'intérêt d'utiliser un test microbiologique évaluant le pouvoir nitrificateur des sols. En effet les germes Nitrosomas et Nitrobacter, responsables de la nitrosation ($\text{NH}_3 \text{---} \text{N}_2\text{O}$) et de la nitratisation ($\text{NO}_2 \text{---} \text{NO}_3$) ont une activité qu'il est aisé de mettre en relation avec les conditions de milieu : pH, porosité (aération), substrat nutritionnel, présence d'inhibiteurs, etc... Plusieurs auteurs ont établi une corrélation étroite entre cette activité nitrifiante et la fertilité des sols (fertilité tant physique que chimique) : Stanford 1955, Moureaux 1959).

Nous avons suivi, pour cette étude, la méthode proposée par KAUFFMAN, BOCQUEL et TOUSSAINT (1956) (cf. en annexe).

Il s'agit d'une méthode très longue : elle permet de suivre au cours du temps (une cinquantaine de jours) l'apparition des nitrites (nitrosation) puis leur disparition (nitratisation), dans des milieux liquides contenant des échantillons de sols. Cette technique, très lourde (9 répétitions par horizon, dosage colorimétrique des nitrites tous les deux ou trois jours pendant près de deux mois) semble apporter toutefois des résultats intéressants.

La figure n° 34 donne deux exemples caractéristiques : (sont représentées, par horizon, les trois courbes correspondant aux 3 moyennes) :

- pour l'horizon 0-10 cm (appumite) du sol A et pour l'horizon 10-20 (gravo-structichron dyscrophe), les vitesses de nitrosation sont voisines
- par contre si la nitratisation s'effectue normalement pour A1, elle est inhibée pour C2.

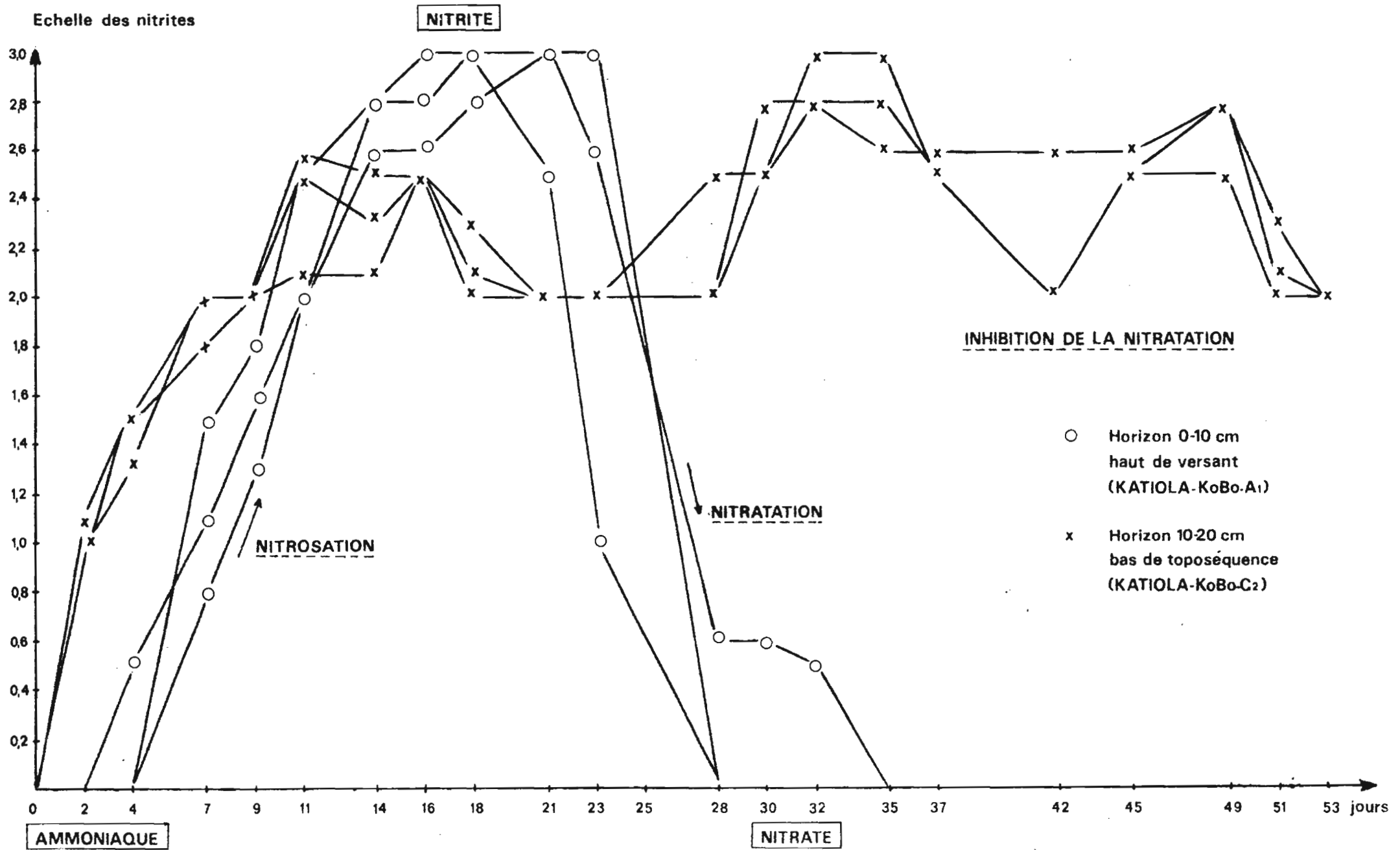
Nous avons cherché à quantifier les différents résultats graphiques, en définissant un indice de vitesse de nitrification : $I_\mu : I_\mu = I_o + I_a + I_t$

Cet indice est la somme de trois autres indices :

I_o : Indice de nitrosation = 200 h/to

h étant le maximum atteint dans l'échelle colorimétrique des nitrites (Griess) et to la durée de la nitrosation (en jours).

DEUX EXEMPLES TYPES



Ia : Indice de nitratisation = 200 h/ta

ta étant la durée de la nitratisation
(en jours)

It : Indice de durée de nitrification = 200 h/t

t étant la durée totale de la nitrifi-
cation.

Le tableau n° 19 présente le dépouillement des deux exemples de la figure n° 34 :

| Horizons | h | to | Io | ta | Ia | t | It | I _μ |
|-------------|-----|------|------|------|------|------|------|----------------|
| A : 0-10cm | 3,0 | 18,3 | 33,1 | 10,0 | 98,4 | 30,3 | 20,0 | 151,5 |
| C : 10-20cm | 2,9 | 31,3 | 18,3 | >50 | 0 | >50 | 0 | 18,3 |

Tableau n° 19 - Deux exemples de détermination des indices de vitesses de nitrification.

Le tableau n° 20 regroupe les résultats concernant les indices I_μ des deux premiers horizons des quatre sols étudiés :

| Horizons | A | B | C | D |
|------------------------|-------|-------|------|------|
| 0-10 cm | 151,5 | 109,9 | 47,4 | 35,6 |
| 10-20 cm | 56,7 | 43,0 | 18,3 | 26,8 |
| Moyenne sur les 20° cm | 104,1 | 76,5 | 30,4 | 46,4 |

Tableau n° 20 - Indices de vitesse de nitrification des horizons testés.

Ainsi, l'activité nitrifiante décroît progressivement de A à C c'est à dire du sommet vers le bas de la toposéquence. Elle paraît néanmoins plus élevée pour le sol hydromorphe que pour le sol de bas de versant. Ce phénomène pourrait s'expliquer par l'action d'inhibiteurs de la nitrification. Ceux-ci seraient des substances hydrosolubles, libérés par les résidus des graminées de savane. MOUREAUX (1973) signale notamment l'influence néfaste de certains exudats comme ceux du *Paspalum*.

Cette inhibition de la nitrification (cf. figure n° 34) en favorisant l'accumulation de nitrites peut en accentuer la toxicité. Cette interaction graminées de savane - vitesses de nitrification peut éclairer l'un des aspects bénéfiques des feux de brousse (disparition de l'action inhibitrice par dénaturation des composés organiques responsables).

Le sol hydromorphe ne doit pas constituer un milieu trop asphyxique puisque la nitrification aérobie s'y maintient (à moins que l'on mesure l'activité d'autres germes anaérobies ?).

Ce test semble intéressant pour évaluer de façon synthétique les potentialités du milieu non perturbé (pH, aération, richesse et nature chimique, etc...). Il est clair que la mise en culture apporterait des modifications de l'ambiance physico-chimique et par contre-coup des vitesses de nitrification.

II.2.3. Densité racinaire.

Toujours dans le but de caractériser la réponse des éléments vivants au milieu, nous avons tenté d'évaluer les densités racinaires pour les trois sols A, B et C (cf. figure n° 16). (Le sol D étant noyé, en saison des pluies, il était très difficile de procéder aux différentes mesures).

Nous avons prélevé 3 monolithes de sol par fosse pédologique, de 25 cm de large sur 20 cm de profondeur. Les racines ont alors été triées à la main, horizon par horizon, puis séchées à l'étuve et pesées. Nous avons rapporté ces masses racinaires aux volumes de terre prélevée d'où l'expression sur la figure n° 35, de la densité racinaire en g de matières sèches par litre de sol. Bien que nous nous soyons efforcés de prélever les monolithes au hasard, ces densités racinaires ne sont ici qu'évaluées assez grossièrement. Cette méthode fait ressortir cependant certaines différences.

Il existe, évidemment, une relation étroite entre le type de végétation et la densité racinaire (cf. figure n° 35). Comme pour les populations de vers de terre, ou les vitesses de nitrification, il semble exister une diminution progressive de l'enracinement du haut vers le bas de versant.

Mais cette figure appelle d'autres remarques. L'enracinement diminue très brutalement à partir des 20 ou 30 premiers centimètres surtout sous forêt. Cet aspect quantitatif ne présuppose rien quant à l'importance qualitative des rares racines profondes (notamment en ce qui concerne l'alimentation en eau au cours de la longue saison sèche).

Il ne semble pas exister, de plus, de relation étroite entre l'enracinement et le taux d'éléments grossiers (et la cohésion générale de l'horizon). Les racines semblent bien s'accomoder d'horizons où les gravillons occupent plus de 30% du volume : gravo-appumite, gravo-structichron dyscrophe... Les éléments grossiers ne paraissent donc pas constituer une contrainte édaphique majeure mais tout au plus un obstacle à la culture mécanisée. Les racines exploitent bien un horizon gravillonnaire si la porosité de la terre fine est suffisante.

Il serait souhaitable, par conséquent, de noter avec plus de précision, l'importance de l'enracinement lors des descriptions de profils sous végétation naturelle. Ces renseignements pourraient faciliter la détermination de la limite de l'agro-sol (cf. p. 2 ; "Approches méthodologiques"), par rapport à la limite apexol-infrasol. Il serait possible de quantifier les pourcentages d'horizon d'infrasol susceptibles d'être exploités par les racines. Par exemple : appumite sur structi-gravolite exploitable à 50%, ou inversement : appumite sur structichron amérode exploitable à 30%.

Sans approfondir cette possibilité, qui nécessite une grande expérience de la part de l'agronome, il paraît utile de formuler, pour chaque profil décrit sous végétation naturelle, un diagnostic d'enracinement, très souvent révélateur des contraintes édaphiques (d'ordre structural notamment). Le langage typologique propose un système de quantification homogène. Empruntant le vocabulaire utilisé par BEAUDOU et de BLIC (1978), nous donnons l'exemple des possibilités offertes pour décrire l'enracinement d'un horizon superficiel appauvri :

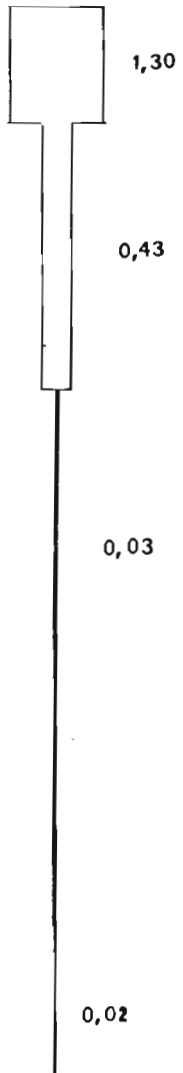
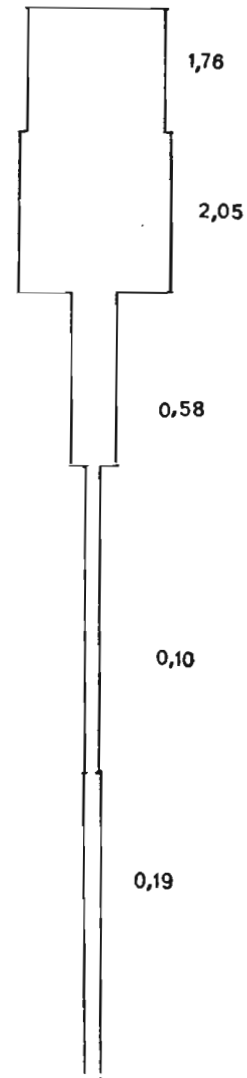
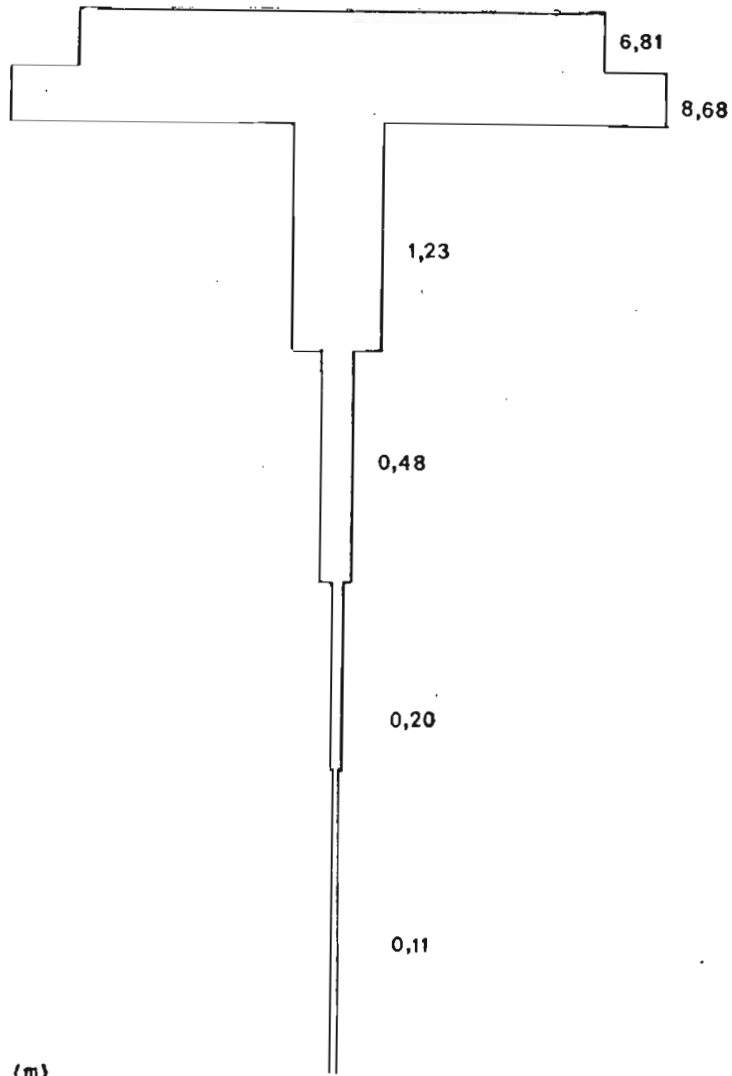
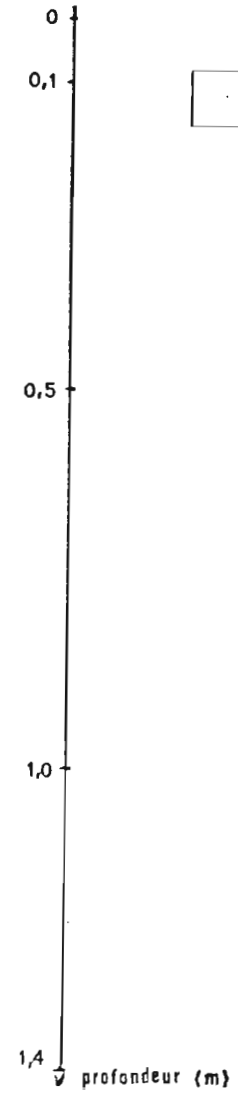
FIG. N° 36 : DISTRIBUTION VERTICALE DES DENSITES RACINAIRES

(exprimés en g de m.s. par litre de sol)

A: FORET CLAIRE SECHE

B: SAVANE BOISEE

C: SAVANE ARBOREE



| Pourcentage volumique des racines estimé | désignation typologique |
|--|---------------------------|
| 0 | appumite |
| 0- 5% | appumite à stigme rhizagé |
| 5-15% | appumite à phase rhizagée |
| 15-30% | appumite rhizagé |
| 30-45% | rhiza-appumite |
| 45-55% | appumite-rhizagé. |

Par analogie avec les feuilles assimilatrices, et les troncs ou tiges conducteurs, ces auteurs établissent une distinction entre :

rhizagé : système racinaire constitué principalement d'éléments conducteurs

rhizophyse : système racinaire **assimilateur** (chevelu racinaire).

Il est donc admis que l'information relative aux racines peut être élevée au niveau des diagnostics majeurs. Un horizon contenant plus de 70% de racines en volume (hoplexol du métaplexion, par exemple sous-forêt) sera désigné par le terme de "rhizophyse appumitique à stigme rhizagé" signifiant ainsi le très faible volume occupé par les racines conductrices et l'importance des racines assimilatrices. La présence d'une phase rhizophyse pourrait-être une des caractéristiques des horizons appartenant à l'agrosol.

II.3. Conclusion.

L'étude des caractéristiques physiques et de quelques activités biologiques mettent en évidence certaines différences que la simple description morphologique laissait seulement supposer. Une interdépendance remarquable des phénomènes apparaît clairement, ce qui sous-entend l'adaptation des individus vivants aux conditions de milieu. Mais s'il est possible d'établir des relations, il s'avère beaucoup moins facile de dégager des conclusions explicatives : est-ce la porosité du sol de haut de versant qui favorise par exemple le développement des populations de lombrics, est-ce l'inverse, ou une interaction ?

Les expérimentations à notre avis, les plus séduisantes sont celles qui laissent prévoir le comportement des sols après mise en culture (par exemple, l'étude du ruissellement et de l'érodibilité après labour). Elles soulignent qu'il ne suffit pas de connaître la morphologie et même la dynamique du milieu naturel pour préjuger de son comportement lors de la mise en valeur. Il ne s'agit que de simples indications qui peuvent se révéler trompeuses : le sol A, sous végétation naturelle présente un coefficient d'infiltration plus élevé que le sol C (bas de versant) ; par contre après labour, ce coefficient devient aussi bas, pour les deux sols. De même l'inhibition de la nitratisation en bas de versant peut-être levée en cas de mise en culture, et certaines façons culturales seraient peut-être capable d'améliorer la structure massive de ce sol.

Toute modification du milieu naturel entraîne une rupture d'équilibre. Se contenter d'étudier le milieu non défriché, c'est limiter considérablement la connaissance de son dynamisme à un état donné. Voilà pourquoi, il est essentiel de mener des expérimentations (ou des enquêtes) visant à déterminer l'évolution des sols lors de leur mise en valeur jusqu'à l'obtention d'un nouvel équilibre (cf. travaux de MOREAU et de de BLIC en Côte d'Ivoire, de FELLER au Sénégal, etc...). Un inventaire des sols, en vue de leur mise en valeur devrait, dans la mesure du possible, inclure, en plus des travaux de cartographie, divers essais visant à prévoir leur évolution sous culture.

CHAPITRE III : INTERPRETATIONS AGRONOMIQUES.

III.1. Exemple de la toposéquence sur schistes de la région de Katiola (Kobo).

Le B.N.E.T.D. (Bureau national d'études techniques de développement) utilise une grille de contraintes édaphiques définies à partir des caractéristiques morphologiques des sols. Elles correspondent à une éventuelle mise en culture en assolement intensif (coton, maïs, arachide, igname, riz pluvial).

Les critères retenus sont :

- la profondeur du sol, limitée par une cuirasse, une roche ou une nappe d'eau. 4 classes sont définies :
 - profondeur : 0-30 cm
 - 30-40 cm
 - 40-60 cm
 - plus de 60 cm
- le taux d'éléments grossiers de l'apexol :
 - 0-15%, 15-30%, 30-50%, plus de 50%
- la texture de l'horizon superficiel : en % d'argile :
 - 0-7%, 7-15%, 15-30%, 30-45%, plus de 45%
- la pente : 0-2,5% : les cultures mécanisées ou semi-mécanisées sont possibles
 - 2,5-5% : culture attelée possible.

On remarquera que les seuls **critères** retenus sont des caractères physiques. Une telle attitude semble de plus en plus fréquente : MUCHENA (1977) utilise, pour la prospection des sols du Kenya les critères suivants :

| | |
|--------------------------|------------------------------------|
| qualité recherchée : | caractéristiques correspondantes : |
| Réserve en eau | profondeur du sol |
| | enracinement |
| | texture |
| Facilités d'exploitation | pente |
| | longueur de pente |
| | cohésion du sol |
| | taux de pierrosité |
| Résistance à l'érosion | pente |
| | érodibilité. |

Cet auteur présente clairement les objectifs principaux (qui doivent être proches au Kenya de ceux du Nord de la Côte d'Ivoire) : les uns concernent directement les besoins de la plante cultivée (alimentation en eau), les autres se rapportent davantage aux techniques elles-mêmes (usure des pièces travaillantes) et à leurs risques (érosion). Ainsi les éléments grossiers, souvent non contraignants vis-à-vis des plantes, présentent un obstacle aux cultures mécanisées ou attelées. Il est alors évident que ces contraintes n'ont rien d'absolu et sous-entendent un type de plante, notam-

ment en ce qui concerne les exigences hydriques, et un type d'agriculture (mécanisée et intensive, semi-mécanisée, attelée, traditionnelle...).

Il est donc nécessaire de fournir des renseignements valables dans le maximum de cas. Un travail de prospection ne relevant que les critères décrits précédemment risquerait de devenir caduque en cas de modification du système cultural (plante, technique culturale).

C'est pourquoi, la description des sols doit être la plus exhaustive possible (dans la limite des délais impartis, d'où un problème de sélection des critères) (cf. "Approches descriptives") et les mesures très diversifiées. Nous avons rassemblé sur le tableau n° 21 les principaux résultats expérimentaux obtenus sur les quatre segments de contraintes de la toposéquence de Kobo. Les critères de cohésion n'y apparaissent pas, puisqu'il ne semble pas y avoir de résistance à la pénétration lors de la période de croissance racinaire (cf. pp. 44-49 et p. 59).

A partir des conditions énoncées par le B.N.E.T.D. et du tableau n° 21, il est possible d'effectuer les remarques suivantes concernant les segments de contraintes :

butte cuirassée : aucune mise en valeur ne semble possible (cf. description p. 34)

Versant rectiligne: malgré le taux d'éléments grossiers important dès l'appumite c'est le segment le plus apte à la mise en culture mécanisée : importante réserve en eau ; faible pente, conditions physiques et biologiques apparemment satisfaisantes (sous végétation naturelle).
(A)
Sa faible extension sur le versant limite cependant la possibilité d'implantation de bloc de culture mécanisée au sommet d'interfluve, dominé ici par une butte cuirassée. (Il est cependant possible, sur certaines toposéquences de ce type de trouver une extension de 400m - sans butte sommitale - mais il serait alors nécessaire de trouver une bande d'environ 5 km de long pour constituer un bloc de 200 ha) (cf. p. 68).

Versant convexo-concave (B) : la pente limite la possibilité de mise en valeur à la culture attelée. A ce niveau les réserves en eau sont encore importantes et le taux de pierrosité n'est pas une contrainte majeure. Son extension plus importante permet la mise en place de parcelles plus intéressantes que pour le segment précédent mais l'attention doit être apportée sur les risques d'érosion (cf. p. 54).

| Désignation des segments de contraintes | Versant rectiligne (A) | Versant convexo-concave (B) | Bordure de thalweg (C) | Flat (D) |
|---|------------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------|
| Végétation | Forêt claire sèche | Savane boisée | Savane arborée | Savane herbeuse |
| Extension (m) | 170 | 630 | 100 | 70 |
| Pente | ≤3 | 3,5-6,0 | 4,0-6,5 | ≤1 |
| Profondeur | >60 | >60 | <30 | <30 |
| % éléments grossiers de l'apexol | 30-50 | 15-50 | 30-50 | 0-15 |
| Texture : % d'argile de l'appumite | 15-30 | 15-30 | 15-30 | >45 |
| R.U. estimée sur | | | | |
| 0,50 m (mm) | 75 | 110 | 70 | - |
| 1,00 m | 180 | 170 | 130 | - |
| 1,50 m | 320 | 310 | 220 | - |
| I ₁ (mm/h) : | | | | |
| Végétation naturelle | 22 | 11 | 21 | - |
| Sol nu après labour | 13 | 11 | 8 | |
| Coefficient de ruissellement maximal Kr (%) : | | | | |
| Végétation naturelle | 20 | 77 | 85 | - |
| Sol nu | 22 | 92 | 98 | - |
| Densité de vers de terre (n/m ²) | 101 | 54 | 50 | 104 |
| Test de nitrification, i ~ | 104 | 77 | 30 | 46 |
| Profondeur d'enracinement (d > 1 g/l) (m) | 0,45 | 0,40 | 0,15 | - |

Tableau 21 - Principales caractéristiques physiques et biologiques obtenues sur une toposéquence sur schistes (Kobo).

Bordure de thalweg : c'est très probablement le segment de contraintes le moins intéressant pour la mise en valeur en culture intensive. Les pentes y sont relativement fortes (4-6,5%) ainsi que les coefficients de ruissellement. Les réserves hydriques sont plus limitées que pour les segments précédents et les faibles densités racinaires témoignent de conditions physicochimiques vraisemblablement défavorables. En raison des risques d'érosion, il serait prudent d'orienter la mise en valeur de ce segment vers les activités pastorales, en contrôlant les risques de surpâturage (cf. p 63).

Flat (D) : lorsque les bas-fonds de ces toposéquences sont suffisamment larges, des cultures irriguées pourraient s'implanter en saison des pluies (ils sont alors noyés). Mais la culture du riz paraît poser plus de problèmes humains que techniques (cf. p. 69).

Il est bien entendu que ces quelques remarques ne peuvent s'appuyer que sur la cartographie des segments correspondants et l'évaluation des surfaces concernées au niveau de la région.

III.2. Perspectives régionales.

III.2.1. Conditions humaines.

a) Démographie.

La densité de la population du Département de Katiola est faible : 8 habitants/km², au recensement de 1975. Ceci est dû vraisemblablement à des causes historiques (guerres de Samory) et sanitaires (Katiola reste un foyer de trypanosomiase). Ainsi d'immenses zones restent désertes : il n'y a par exemple aucun village sur une bande s'étendant sur 30 km de part et d'autre du Bandama (risques d'onchocercose). La population se concentre en villages surtout le long des axes de communication : axes routiers Bouaké-Korhogo et Dabakala-Mankono, et axe ferroviaire : Abidjan-Ouagadougou.

b) Traditions agricoles et alimentaires.

Les Tagbanas, ethnie de la région de Katiola, appartiennent au groupe linguistique des Sénoufos. Ils s'en distinguent cependant par leurs traditions agricoles et alimentaires. La nourriture de base, ainsi que la principale culture est le maïs, consommé sous forme de grains, d'épi braisé ou de farine (dont on fabrique galettes ou purée - Toho). Le maïs fermenté donne une boisson alcoolisée (Dolo ou Tiapalo de maïs). Le son entre dans l'alimentation du bétail.

Après le maïs, viennent en ordre d'importance l'igname et l'arachide. Selon les statistiques rurales de 1974-1975, l'assolement le plus répandu est de 6 ans :

1ère année : arachide
 2ème année : maïs puis coton
 3ème année : igname
 4è, 5è et 6è années : jachère.

III.2.2. Conditions pédoclimatiques.

Le sol et le climat constituent les principaux facteurs physiques intervenant en agronomie. Il semble par conséquent nécessaire de procéder à une synthèse visant à déterminer les possibilités de cultures offertes par ces conditions naturelles.

Nous étudierons par conséquent les ressources en eau (principal facteur limitant) compte tenu de la pluviométrie, de l'ETP et des réserves des sols afin de déterminer les périodes de cultures les plus favorables. Nous confronterons par la suite les différents cycles culturaux existants dans la région de Katiola aux résultats théoriques obtenus.

BOULET (1976) utilise la méthode graphique proposée par COCHEME et FRANQUIN (1967) pour déterminer la durée moyenne de la période de végétation.

Il suffit de connaître les moyennes mensuelles de l'évapotranspiration potentielle et de la pluviométrie que l'on reporte alors sur un graphique, accompagnées des variations mensuelles de ETP/2 et ETP/10. Ces auteurs estiment que la végétation en croissance peut s'accomoder d'une pluviométrie comprise entre ETP/2 et ETP. Ils attribuent aux sols une valeur théorique de 100 mm d'eau pour 1.000m de profondeur ; nous avons préféré considérer deux réserves théoriques : 100 mm et 200 mm. Notons que les sols sur schistes étudiés se situent dans cette gamme : pour un mètre de profondeur : de 130 mm à 180 mm. La texture des toposéquences sur granite (cf. figure n° 10) laissent prévoir des réserves hydriques inférieures.

Dans le cas de toposéquences sur roches basiques (cf. figure n° 20) le stock d'eau disponible pour les plantes serait voisin de celui des sols des toposéquences sur schistes (mais il ne s'agit là que de suppositions issues des observations texturales).

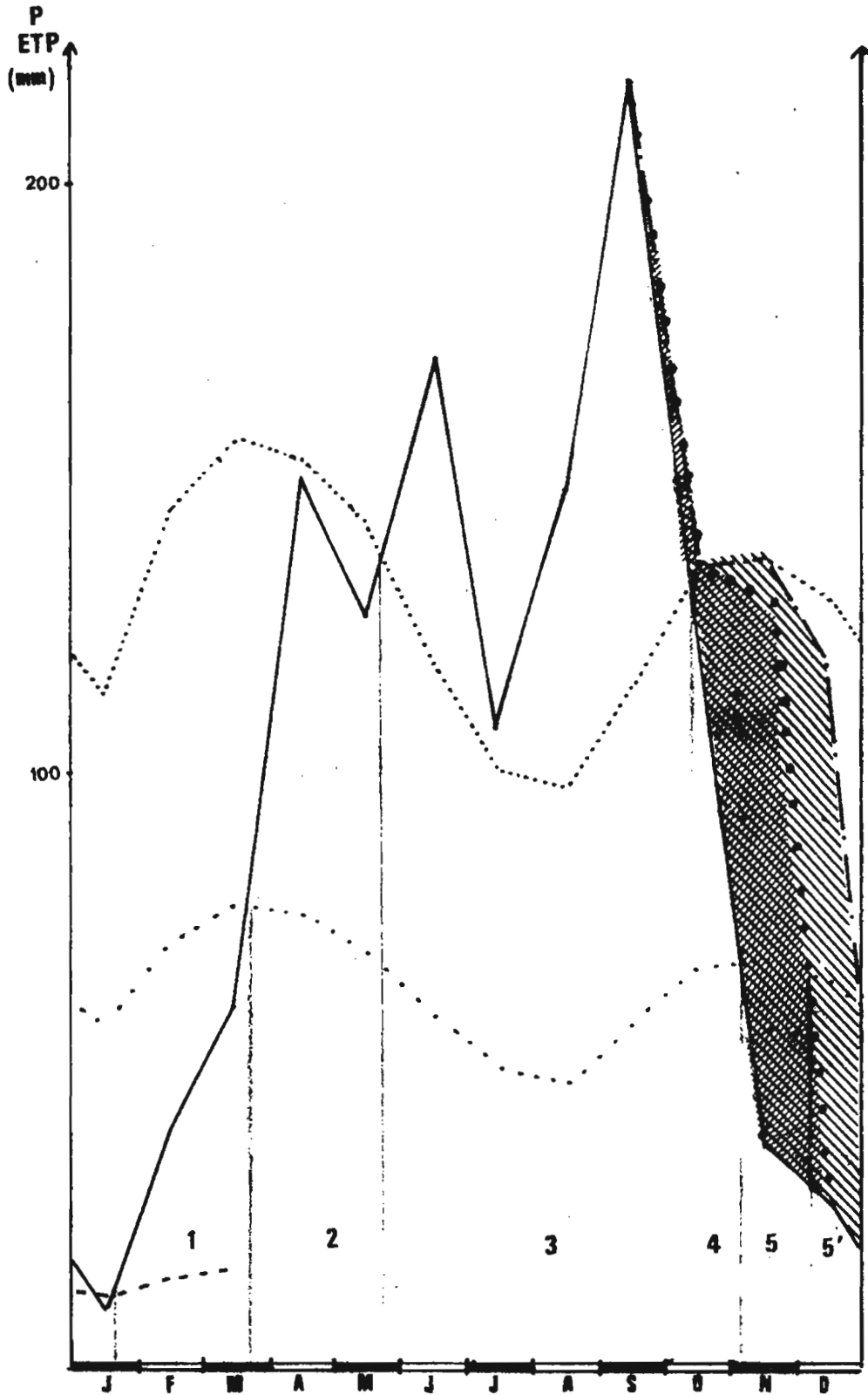
La méthode de CHEME et FRANQUIN (1967) propose la distinction de 5 périodes :






1. Période de préparation du sol en vue des cultures :
ETP/10 \leq P \leq ETP/2
2. Période préhumide pendant laquelle les semis sont possibles
ETP/2 \leq P \leq ETP
3. Période humide : le sol reconstitue ses réserves hydriques et draine éventuellement : P > ETP
4. Période pré-sèche : les réserves commencent à être utilisées par les cultures : ETP/2 \leq P \leq ETP
5. Période d'épuisement des réserves : P < ETP/2.

La période végétative est constituée des périodes 2, 3, 4 et 5.

Quelques critiques peuvent être apportées à la méthode :

Fig. N° 37 : ESTIMATION DE LA PERIODE VEGETATIVE MOYENNE
A KATIOLA



-  R.U. = 100 mm
-  R.U. = 200 mm
-  ETP (Turc)
-  ETP/2
-  ETP/10

Pluviométrie annuelle = 1217 mm
ETP annuelle = 1572 mm

| Périodes | | Nombre de jours pour R.U. = 100 | pour R.U. = 200 |
|------------------------------|------------------------------|---------------------------------|------------------|
| 1 | " de Préparation | 52 | 52 |
| 2 | " Préhumide | 60 | 60 |
| 3 | " Humide | 143 | 143 |
| 4 | " Préseche | 24 | 24 |
| 5 | " d'utilisation des réserves | 32 | 56 |
| PERIODE DE VEGETATION | | 259 jours | 283 jours |

- elle est très théorique en ce qui concerne le régime hydrique des sols. Elle sous-entend que la réserve utile est uniformément répartie sur 1m de profondeur et qu'elle est reconstituée entièrement lors de la saison des pluies. Elle ne tient pas compte des pertes par drainage qui surviennent sans que le sol soit à saturation (écoulement préférentiel dans les fentes, etc...) et les pertes causées par ruissellement (sans que le sol soit non plus complètement saturé) ;
- elle n'utilise que des données climatiques moyennes. Or une moyenne pluviométrique est une donnée peu utilisable. Il est beaucoup plus intéressant de déterminer les fréquences d'apparition de tel ou tel événement (par exemple : dans la deuxième décennie d'avril, P est égal à ETP/2, 9 années sur 10), plutôt que leur position moyenne, compte tenu de l'extrême variabilité pluviométrique. A notre connaissance, une seule étude de ce type a pour l'instant été réalisée en Côte d'Ivoire : à Bouaké (FRANQUIN, 1973).

Malgré les imperfections de cette méthode, difficilement exploitable pour la conduite d'une exploitation agricole, il semble possible de l'utiliser lors d'une première approche agroclimatique.

Ainsi, pour Katiola, cette méthode graphique permet de déterminer certaines périodes moyennes : les semis peuvent avoir lieu, de la troisième décennie de mars à la troisième décennie de mai (cf. figure n° 37).

La durée moyenne du cycle de végétation dépend des réserves hydriques des sols.

Pour une réserve utile de 100 mm, le cycle prend fin dans les premiers jours de décembre : durée du cycle \pm 260 jours. Pour une réserve utile de 200 mm, il pourra se poursuivre jusqu'à la première décennie de janvier : durée du cycle : \pm 285 jours, soit près d'un mois supplémentaire par rapport au cas précédent.

Les cycles culturels effectifs, étudiés par le service départemental des statistiques agricoles, entrent comme nous allons le voir dans ce cadre "pédoclimatique", mais varient suivant les différents types de production.

III.2.3. Les cycles culturels.

Nous présentons ici les principaux cycles culturels de la région de Katiola. Le tableau n° 22, dressé à partir des enquêtes départementales, doit être confronté à la figure n° 37 établie d'après les données climatiques et pédologiques.

| Culture | Mois | | | | | | | | | | | |
|----------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
| Arachide | | | | | | | | | | | | |
| Maïs | | | | | | | | | | | | |
| Coton | | | | | | | | | | | | |
| Igname | | | | | | | | | | | | |

Tableau n° 22 - Les principaux cycles culturels de la région de Katiola.

III.2.3.1. Maïs.

Le maïs demande dès le semis environ 150 mm/mois, les besoins montent à 180 mm/mois lors de la floraison. Pour un cycle de 90 jours, il doit être semé début avril (cf. figure n° 37) et récolté fin juin (avant la pseudo-saison sèche de juillet (cf. figure n° 14)). Ce maïs de premier cycle est surtout utilisé pour l'alimentation humaine (épi braisé).

Il est souvent possible d'effectuer un deuxième cycle de maïs la même année. Semé mi-août (reprise des pluies), il bénéficie des fortes pluies de septembre. La floraison ne peut ensuite être assurée que grâce aux réserves hydriques du sol. Il importe donc de choisir les terrains les plus propices (sols sur schistes et sur roches basiques plutôt que sur granites. Les agriculteurs tagbanas d'ailleurs ne se trompent pas...).

Dans certains cas, le coton, culture de rapport, succède au premier cycle de maïs.

III.2.3.2. Coton.

Les besoins en eau les plus importants apparaissent en début de floraison, vers le 70ème jour, par contre la sécheresse doit être totale lorsque les capsules arrivent à maturité (130ème jour). Ainsi le semis peut avoir lieu mi-août bénéficiant, comme pour le second cycle de maïs, des pluies importantes de septembre, puis des réserves en eau du sol. La sécheresse est ensuite suffisante de décembre à janvier jusqu'à la récolte à la mi-février.

III.2.3.3. Igname.

Les besoins en eau de l'igname sont surtout importants de la 14ème à la 20ème semaine*. Cette période doit par conséquent coïncider avec les 6 semaines les plus pluvieuses de l'année (15 août-30 septembre) ce qui impose une date de plantation au début du mois de mai. L'igname est récolté à Katiola, fin septembre (igname précoce) ou fin décembre (igname tardif).

III.2.3.4. Arachide.

L'arachide est surtout cultivée sur les sols de texture légère, c'est pourquoi on la trouve principalement entre Katiola et Dabakala, dans une région surtout granitique. Elle réclame une quantité d'eau moins importante que pour les cultures précédentes et demande une période un peu plus sèche en fin de cycle. Ainsi le semis a lieu en début de période préhumide : début avril (cf. figure n° 37) et la récolte en période pseudo-sèche : juillet (cf. figure n° 14).

* Les principales données sur les exigences hydriques des plantes cultivées sont extraites du Mémento de l'Agronome. Ed. 1974. Techniques rurales en Afrique.

III.2.4. Remarques générales.

D'une manière générale, la simple comparaison des trois toposéquences (cf. figure n° 21), notamment quant à leur texture indique des aptitudes culturelles différentes.

L'examen, même très grossier, de la répartition spatiale des cultures, semble montrer que les zones les plus exploitées sont généralement situées sur schistes ou sur roches basiques. La toposéquence de Pétionara pourtant assez éloignée du village est cultivée en parcelles contiguës sur la majeure partie du versant (de PÉ2 à PÉ8 ; cf. figure n° 20). Il est probable qu'en plus des réserves hydriques importantes évoquées ci-dessus, la richesse minérale intervienne également pour une grande part (mais nous ne disposons pas encore des résultats analytiques).

Il serait très intéressant de mener une enquête systématique, en recouvrant à l'outil informatique, en vue de déterminer d'une façon assez précise, les relations entre les types de sol, les différentes plantes que l'on y cultive et leur niveau de production.

Il est satisfaisant de constater, que le savoir-faire ancestral des paysans a su adapter les types de production et leurs calendriers culturels, aux conditions climatiques et pédologiques. Mais cette remarque n'enlève rien aux études entreprises actuellement : elles visent à prévoir, en un minimum de temps, les rendements des nouvelles productions et de déterminer leurs sites d'implantation.

III.2.5. Les principaux aménagements.

Plusieurs projets d'aménagements et de développement sont en cours de réalisation dans la région de Katiola.

Le coton : la C.I.D.T., Compagnie Ivoirienne pour le Développement des fibres textiles, a entrepris un vaste projet cotonnier comprenant la mise en place de nombreux blocs de 200 ha en culture semi-mécanisée. Les prospecteurs pédologues, travaillant à grande échelle, ont reçu pour principale consigne de rechercher des sols suffisamment profonds situés sur les plateaux boisés. Il est intéressant de noter que l'étude de la toposéquence de Kobo montre que les sommets d'interfluvés sur schistes offrent effectivement un intérêt certain, s'ils sont suffisamment vastes (cf. p.63).

Le riz : la SO.DE.RIZ, Société de développement de la riziculture, est implantée à Katiola. Elle a réalisé quelques projets d'aménagements hydro-agricoles dans les bas-fonds assez larges et plats (flats) en vue de développer la culture irriguée du riz. Si les conditions pédologiques semblent plutôt favorables (cf. p.65), les obstacles sont essentiellement d'ordre humain. Ce sont les Sénoufos et non les Tagbanas qui traditionnellement cultivent le riz. L'apport de population allochtone crée certaines tensions notamment lors de la résolution des problèmes fonciers.

La canne à sucre : un important complexe sucrier est en train de s'établir à Marabadiassa, sur la rive orientale du Bandama (8000 ha) sous l'impulsion de la SO.DE.SUCRE, Société de Développement des plantations de Canne à Sucre. L'irrigation s'effectuera par aspersion. Les sols retenus par les prospecteurs de l'Université de Gand, sont situés sur des conglomérats. Leurs propriétés physiques

sont proches de celles décrites pour les sols sur roches vertes (d'après les observations morphologiques réalisées lors des travaux de cartographie au 1/200.000).

L'élevage : la SODEPRA, Société de développement des productions animales) est en train d'étudier les possibilités d'encourager l'élevage bovin et avicole dans la région de Katiola. De nombreux sols semblent susceptibles de supporter une utilisation pastorale à condition de la contrôler pour éviter le surpâturage et les risques d'érosion (bas de versant sur schistes, cf. p. 65 , et sols sur granites...).

III.3. Conclusions.

La région de Katiola possède de nombreux atouts pour son développement agricole. Elle se situe dans une zone qui présente certains avantages du Nord du pays (fort ensoleillement) tout en ayant une longue saison des pluies (de mai à septembre). Les sols ne sont que très rarement limités en profondeur par des cuirasses et gardent un héritage important des roches mères dont ils sont issus (texture, richesse minérale ?). Environ 50% des sols de la région ont un substrat schisteux ou basique. Les sols présentent, surtout sur les sommets d'interfluves, des propriétés physiques intéressantes notamment en ce qui concerne les réserves en eau. Les conditions climatiques et pédologiques permettent une période de végétation comprise entre 250 et 300 jours. Un très grand nombre de productions sont possibles (y compris en limite le café et le cacao...).

Des voies de communications modernes (route goudronnée Bouaké-Ferkessedougou, et ligne de chemin de fer Abidjan-Ouagadougou) permet la mise en place d'un réseau d'approvisionnement (engrais, semences, produits phytosanitaires etc...) et de vente des produits. La proximité de Bouaké (situé à moins de 60 km de Katiola), marché agricole très important, permet d'espérer des débouchés intéressants pour la production katiolaise.

Ce cadre physique et économique favorable s'accompagne toutefois d'une faiblesse démographique. Celle-ci semble gêner la réalisation des grands projets d'autant plus que l'arrivée de paysans Sénoufos, émigrés de la zone dense de Korhogo (une des plus fortes de l'Afrique de l'Ouest), ne s'effectue pas sans heurt dans cette zone tampon, située entre les groupes Baoulés du Sud et Sénoufos du Nord.

Katiola ne constitue qu'une région de Côte d'Ivoire. Il est évident que le gouvernement de ce pays souhaite le développement harmonieux de toutes les régions. Il est soucieux, dans ce but, d'obtenir le maximum de données chiffrées susceptibles de servir à la planification.

Parallèlement aux travaux de cartographie permettant l'inventaire des sols, les études de caractérisation hydrodynamiques et biologiques des sols ont pour objectif de faciliter le travail de l'aménagiste. Après cette première série d'expérimentations à Katiola (sur schistes), d'autres travaux sont prévus à Tingrela (cf. carte

de situation, figure n° 12), (sur schistes) ; puis à Touba (sur roche ultrabasique) et Dabakala ou Bouna (granites). Dans le Sud de la Côte d'Ivoire, le Service Hydrologique de l'O.R.S.T.O.M. cherche à définir également les caractéristiques du ruissellement (à l'aide de l'infiltromètre), à Yapo (cf. toposéquence sur schistes, figure n° 15) et prochainement à Taï sur granite (région du Sud-Ouest).

Ce quadrillage de la Côte d'Ivoire doit permettre la caractérisation hydrodynamique des sols les plus représentatifs du socle précambrien de la Côte d'Ivoire.

LE DOMAINE DES SABLES TERTIAIRES

LE DOMAINE DES SABLES TERTIAIRES

Les sols de la région d'Abidjan se sont formés à partir des sables tertiaires du petit bassin sédimentaire ivoirien. Leur importance économique est évidente : c'est près des ports (et des aéroports) que se concentrent les grandes plantations de type industriel.

C'est pourquoi leur prospection en vue de leur mise en valeur n'est pas récente et a été assurée par les premiers pédologues de l'ORSTOM envoyés en Côte d'Ivoire. Parallèlement à l'inventaire et à la description de ces sols, des études ont été menées en vue de déterminer leur évolution sous l'effet du défrichage et de la mise en culture (JANSE, HULSBOS et OCHS ; 1955, ROOSE ; 1973, et plus récemment AKODO ; 1977).

Contrairement aux sols du Nord de la Côte d'Ivoire, ceux-ci sont connus depuis longtemps. Le pédologue est donc amené à répondre à des questions précises concernant leur utilisation agricole actuelle et non plus leur aptitude culturale, déjà définie.

CHAPITRE I : APPROCHES DESCRIPTIVES

Les sols sur sables tertiaires de Basse Côte d'Ivoire ayant été abondamment décrits (de la SOUCHERE ; 1957, ROOSE et CHEROUX ; 1966) nous n'en présenterons que les principales caractéristiques. Elles permettront d'éclairer les différents résultats expérimentaux et de les situer par rapport au paysage pédologique.

I.1. Le modelé.

ROOSE et CHEROUX (1966) présentent le relief comme étant celui d'un plateau très tourmenté par le réseau hydrographique, d'une altitude moyenne d'une centaine de mètres environ. Ses pentes généralement faibles (<3%) s'inclinent vers les lagunes où elles plongent brusquement de 10 à 30 mètres de dénivellation (pente parfois supérieure à 50%).

Les toposéquences les plus caractéristiques sont constituées :

- d'un plateau à pente convexe (de 3 à 12%)
- d'un court versant convexe de pente généralement forte (30-50%)
- d'un thalweg sec ou marécageux de faible pente (<3%).

Les sols cultivés se trouvent le plus souvent sur les plateaux aménagés contre l'érosion (hévée, palmier à huile) et dans les bas-fonds (bananier). Mais certaines cultures se sont également implantées sur les versants (manioc). L'ananas est cultivé en courbes de niveau sur des pentes parfois fortes (> 10%).

I.2. Les principaux types de sols

Dans leur notice de carte pédologique au 1/200.000^e, ROOSE et CHEROUX (1966) indiquent que les sols sont très homogènes, et présentent des profils "semblables". Les faibles différenciations sont apportées par les variations stratigraphiques du substrat plus ou moins argileux, et par les différentes inclinaisons de pente. Ainsi leur carte distingue les unités de sols suivant la nature du matériau originel et la position topographique.

Sont rapidement présentés ici les trois principaux types de sols de plateau, communs au Centre de l'ORSTOM d'Adiopodoumé (cf. carte figure N° 12) et aux grandes plantations d'ananas situées à l'Est d'Abidjan (Bonoua et Ono).

a) Matériau sableux, pente < 3% (Description d'après AKODO ; 1977)

- 0 - 8 cm : appumite grumoclode brun, sableux, très meuble
- 8 - 35 cm : structichron dyscrophe grumoclode brun, sablo-argileux, meuble
- 35 - 50 cm : structichron à phase dyscrophe amérode brun clair, sablo-argileux, peu meuble
- 50 - 130 cm : structichron amérode brun clair, sablo-argileux, peu meuble.

b) Matériau sablo-argileux, pente comprise entre 3% et 8%

(Description d'après ROOSE et CHEROUX ; 1966)

- 0 - 10 cm : appumite nuciclode gris-brun foncé, sablo-argileux, très meuble
- 10 - 40 cm : structichron dyscrophe anguclode brun-gris, argilo-sableux, meuble
- 40 - 120 cm : structichron à phase dyscrophe amérode, brun-jaune, argilo-sableux, peu meuble
- 120 cm et + : structichron amérode ocre rouge, argilo-sableux, peu meuble.

c) Matériau argilo-sableux, pente > 8%

(Description d'après ROOSE et CHEROUX ; 1966)

- 0 - 10 cm : appumite nuciclode gris-brun foncé, sablo-argileux, très meuble
- 10 - 40 cm : structichron dyscrophe anguclode brun-gris, argilo-sableux, meuble
- 40 - 120 cm : structichron à phase dyscrophe amérode, brun-jaune, argilo-sableux, peu meuble
- 120 cm et + : structichron amérode ocre rouge, argilo-sableux, peu meuble.

Ces trois descriptions sommaires illustrent la similitude des sols. Seul le profil textural varie légèrement d'un sol à l'autre, les sols sur pente étant sensiblement plus argileux en surface.

Le tableau N° 22 regroupe les principaux caractères analytiques de ces sols (d'après ROOSE et CHEROUX; 1966).

Tableau N° 22 : Principales caractéristiques analytiques des sols sur sables tertiaires.

| Horizons | Sols | Argile (%) | Sables grossiers (%) | Matière organique (%) | pH (eau) | S (méq/100 g) | T (meq/100 g) | S/T (%) |
|--------------------------------|------|------------|----------------------|-----------------------|----------|---------------|---------------|---------|
| Appumite | 1 | 12 | 60 | 4,0 | 3,9 | 0,58 | 4,47 | 13 |
| | 2 | 12 | 58 | 5,2 | 4,3 | 1,59 | 5,48 | 29 |
| | 3 | 22 | 53 | 8,3 | 3,9 | 0,85 | 9,89 | 9 |
| Structichron dyscrophe | 1 | 18 | 54 | 2,0 | 4,0 | 0,61 | 4,67 | 13 |
| | 2 | 20 | 56 | 2,5 | 4,5 | 0,80 | 3,58 | 22 |
| | 3 | 37 | 42 | 2,7 | 4,5 | 0,59 | 4,74 | 12 |
| Structichron à phase dyscrophe | 1 | 20 | 56 | - | 4,5 | 0,58 | 3,20 | 18 |
| | 2 | 22 | 57 | - | 4,6 | 0,86 | 3,46 | 25 |
| | 3 | 38 | 42 | - | 4,6 | 0,59 | 3,22 | 16 |
| Structichron | 1 | 22 | 53 | - | 4,5 | 0,85 | 2,97 | 29 |
| | 2 | 25 | 50 | - | 4,7 | 0,84 | 3,04 | 28 |
| | 3 | 40 | 38 | - | 4,6 | 0,52 | 2,85 | 18 |

Sols - 1 : sur matériau sableux - faible pente
 2 : sur matériau sablo-argileux - pente moyenne
 3 : sur matériau argilo-sableux - forte pente.

Notons enfin que l'homogénéité des sols sur sables tertiaires accentue la représentativité des sites expérimentaux (Centre d'Adiopodoumé) pour l'ensemble de la région d'Abidjan. Les divers résultats obtenus à l'ORSTOM sont ainsi aisément extrapolables aux grandes plantations de Basse Côte.

CHAPITRE II : APPROCHES EXPERIMENTALES

Les pédologues, participant aux travaux de développement agricole de la région d'Abidjan, se sont vus confronter à divers problèmes : mise en valeur des sols peu fertiles de la savane de Dabou, des tourbes etc... (PERRAUD, de la SOUCHERE, 1962).

La protection des sols a, dès le début, retenu une grande attention, à cause des dégâts rapidement constatés, particulièrement sur certaines plantations (Ono,...) où la faible stabilité structurale de l'horizon superficiel fut mis en cause (DABIN, 1960). GODEFROY (1974) attribue cet effet à la texture très grossière des sols (plus de 50% de sables grossiers ; cf. chapitre précédent). De plus, il n'est pas rare de voir des pentes supérieures à 8%, défrichées et cultivées. C'est pourquoi l'érosion a donné lieu depuis plus de 20 ans à de nombreuses études dont certaines ont débouché sur des synthèses importantes (ROOSE 1973 et 1975) et des propositions de lutte intéressantes (ROOSE 1967, 1971 a et b, 1972). Il semble que l'on ait tiré le maximum de résultats des observations réalisées sur parcelles expérimentales et sous pluies naturelles. Il est ainsi possible de prévoir au moins l'ordre de grandeur des pertes en terre suivant les différentes situations (climat, pente, couvert végétal, aménagement antiérosif etc...), en appliquant l'équation de WISCHMEIER et SMITH (1960) adaptée aux conditions de l'Afrique de l'Ouest par ROOSE (1973). Cependant les mécanismes même de l'érosion sont encore assez mal analysés. Pour cela, il est nécessaire de maîtriser un nombre maximal de facteurs et donc de mettre en oeuvre une méthodologie plus appropriée. Le simulateur de pluies (ROOSE 1968) paraît correspondre à ce besoin et ouvrir la voie à un nouveau type de recherches. Nous avons été amenés à poursuivre certaines observations sous pluies naturelles (érosion sous différents types de culture d'ananas) et à préciser certains facteurs sous pluies simulées (effets longueur de pente et couvert végétal).

Ces sols de texture grossière ont une faible capacité de rétention. Le drainage y est très rapide et important (cf. p48) et favorise ainsi l'entraînement des éléments fertilisants, c'est à dire la lixiviation. Des lysimètres ont été installés par ROOSE et Henry des TUREAUX (1970) et sont utilisés actuellement pour évaluer les pertes d'engrais, provoquées par le drainage, sous la culture d'ananas.

Les relations sol-eau présentent pour ces sols sur sables tertiaires, une importance au moins aussi grande que pour ceux du domaine cristallin. Mais les problèmes ne se posent pas d'une manière identique : dans le Nord du pays, le manque d'eau est l'un des facteurs les plus limitants pour les cultures, en Basse Côte, l'eau est l'agent des pertes en terres et en éléments nutritifs.

II.1. Analyse des facteurs longueur de pente et couverture végétale.

II.1.1. Présentation de l'étude :

Dans l'équation proposée par WISCHMEIER et SMITH (1960), l'érosion est fonction de la racine carrée de la longueur de pente. Il s'agit là d'un résultat empirique obtenu en dépouillant les valeurs de pertes en terres annuelles mesurées pendant 30 ans sur les différentes parcelles d'érosion des Etats Unis.

Or, il est évident que la nature du sol, notamment sa texture intervient sur cet effet longueur de pente, c'est pourquoi il a paru intéressant à certains chercheurs américains (SWANSON) d'utiliser la simulation de pluies, non seulement pour étudier la variabilité des résultats obtenus par cette équation, mais pour corriger au besoin la valeur de l'exposant $n-1$ ($n-1 = 0,5$ pour WISCHMEIER et SMITH), de l'expression l^{n-1} , en fonction des différentes natures de sols. C'est ce type d'expérimentation que Mr. ROOSE nous a conseillé de mener en compagnie de M. LAFFORGUE (hydrologue), Mr. ASSELINE assurant la mise en oeuvre du simulateur de pluies.

De plus, l'influence du couvert végétal, et donc de l'hétérogénéité de surface, sur les intensités d'infiltration et les pertes par érosion, fait partie des préoccupations des hydrologues (LAFFORGUE, 1977) et des pédologues (ASSELINE et VALENTIN, 1977). Un protocole commun fut donc établi pour mettre en évidence l'importance de la couverture herbacée, et de sa répartition le long de la pente.

Avant de présenter les résultats concernant les quantités de terres érodées, il paraît nécessaire d'exposer les conditions expérimentales et de proposer certaines hypothèses sur l'évolution de la turbidité et des débits solides sous pluies simulées.

II.1.2. Définition des principaux symboles utilisés

Sont empruntés ici un certain nombre de termes couramment utilisés en hydrologie (LAFFORGUE ; 1977) auxquels nous avons ajouté de nouveaux, propres à l'étude de l'érosion.

| | |
|----------------|---|
| l et i | Longueur et pente topographique de la parcelle |
| t | Temps compté à partir du début de l'averse |
| t _i | Début du ruissellement |
| t _l | Arrêt de l'effet splash |
| t _t | Début du régime permanent de ruissellement R _x |
| t _c | Début de l'effet cisaillement |
| t _z | Stabilisation de l'effet cisaillement |
| t _u | Arrêt de la pluie |
| t _f | Arrêt du ruissellement |
| t _a | Durée séparant deux averses consécutives |
| I | Intensité constante de la pluie (mm/h) |

| | |
|----------|---|
| I_m | Intensité moyenne de la pluie |
| I_1 | Intensité initiale de pluie |
| I_f | Intensité finale de pluie |
| I_l | Intensité de pluie limite d'apparition de ruissellement |
| R | Intensité de ruissellement (mm/h) |
| R_X | Valeur maximale de R en régime permanent |
| R_{Xn} | Composante de R_X correspondant au ruissellement en nappe |
| R_{Xc} | Composante de R_X correspondant au ruissellement en rigoles |
| F | Intensité de l'infiltration (mm/h) |
| F_N | Valeur minimale de F en régime permanent |
| P_i | Pluie d'imbibition (de $t = 0$ à t_i) |
| P_u | Pluie cumulée au temps t_u (pluie utile) (mm) |
| L_R | Hauteur de la lame d'eau ruisselée cumulée (mm) |
| D_m | Hauteur d'eau correspondant à la détention superficielle mobilisable (mm) |
| D_s | Détention superficielle = $L_R (t_f - t_u)$ |
| C | Charge solide, turbidité (g/l) |
| C_s | Valeur maximale de C pour $t_i < t < t_1$, pic initial de turbidité |
| C_{st} | Composante de C correspondant au stock initial mobilisable, $t_a > 12$ h (durée de ressuyage) |
| C_{sp} | Composante de C due à l'effet splash |
| C_n | Composante de C due à l'érosion en nappe |
| C_c | Composante de C due à l'érosion par cisaillement |
| C_x | Valeur de C correspondant au régime permanent de ruissellement ($C_x = e$; constante) |
| Q | Quantité de terre érodée par unité de temps et de surface, débit solide (g/h/m ²) ou (g/s/ha) |
| Q_s | Valeur maximale de Q pour $t_i < t < t_1$, $Q_s = C_s \cdot R$ |
| Q_{st} | Composante de Q telle que $Q_{st} = C_{st} \cdot R$ |
| Q_{sp} | Composante de Q telle que $Q_{sp} = C_{sp} \cdot R$ |
| Q_n | Composante de Q telle que $Q_n = C_n \cdot R$ |
| Q_c | Composante de Q telle que $Q_c = C_c \cdot R$ |
| E | Masse de terre érodée (kg/ha). |

II.1.3. Dispositif et protocoles expérimentaux :

II.1.3.1. Les parcelles

Les parcelles expérimentales ont été implantées dans la partie Sud du Centre ORSTOM d'Adiopodoumé, sur un sol ferrallitique très désaturé appauvri modal (AUBERT, SEGALEN, 1966), riche en sables grossiers, à profil homogène et perméable sur une grande profondeur (ROOSE, 1975).

Afin d'étudier l'influence de la longueur de pente d'une part et de l'hétérogénéité de la surface d'autre part, trois couples de parcelles furent mises en place après nivellement du terrain (pente de 5,5 à 6,5%) : (cf. fig. N° 38).

a) Couple ADP :

Une des deux parcelles, de dimensions classiques (5 mètres de large sur 10 mètres dans la longueur de la pente, fut cloisonnée pour y établir trois sous-parcelles de longueur croissantes : 1 m, 2 m, 5 m, tandis que l'autre recevait le dispositif normal. Des cuves réceptrices adaptées à ces parcelles de dimensions réduites durent être construites par M. ASSELINE ; ne disposant pas d'un nombre suffisant de limnigraphes à grande vitesse d'avancement et d'électropompes de vidange, les quatre parcelles n'ont pas reçu les pluies simulées simultanément. Elles durent être considérées comme deux sous-couples soumis au même régime de pluies : un sous-couple recevant la pluie tandis que l'autre était protégé par des baches :

Sous-couple ADP 1-3 : sous parcelles 1 (10 m) et 3 (2 m)

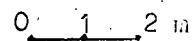
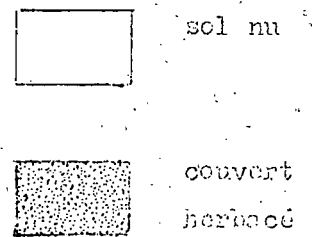
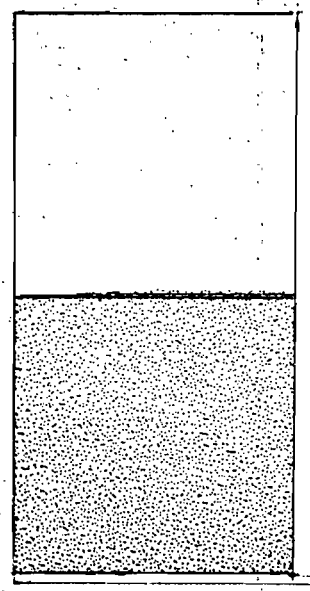
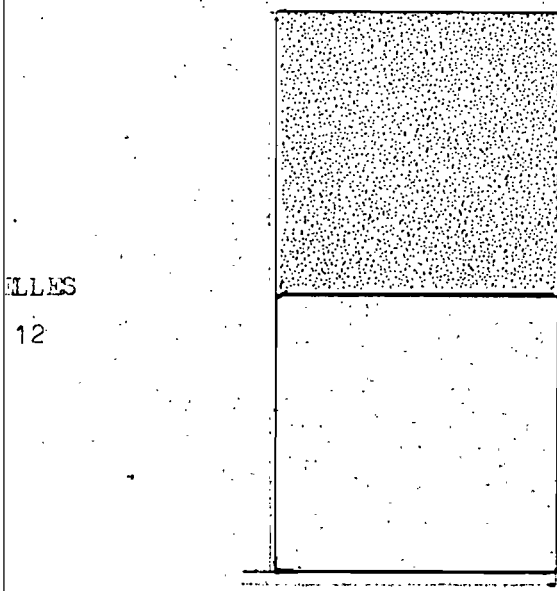
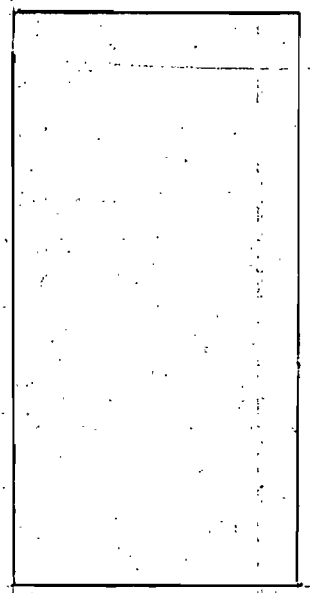
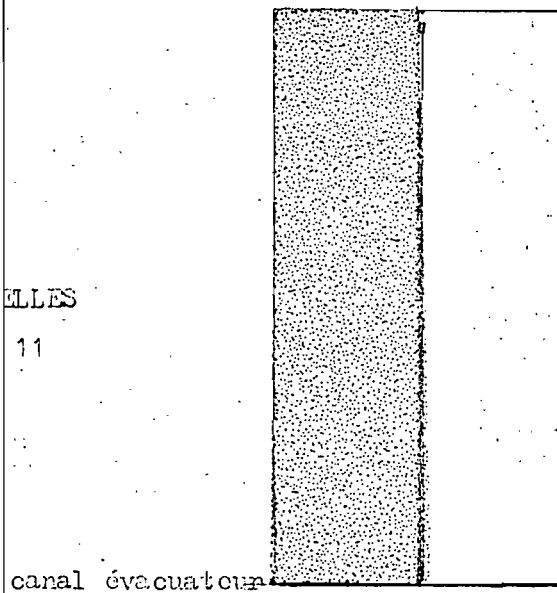
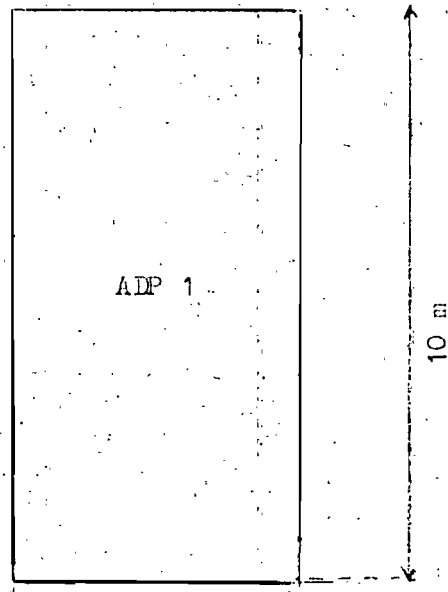
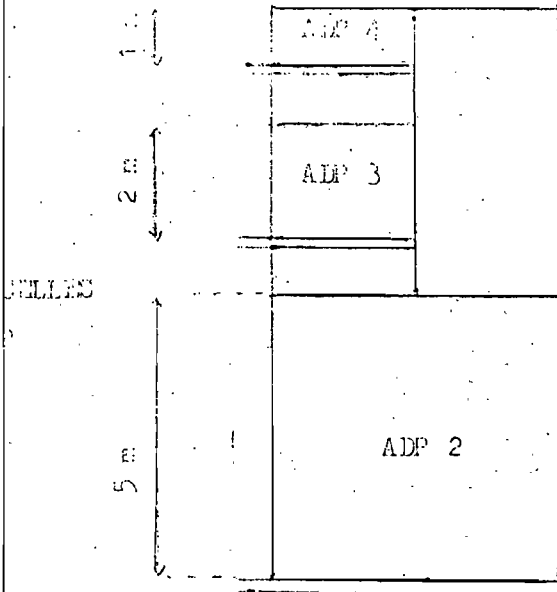
Sous-couple ADP 2-4 : sous-parcelles 2 (5 m) et 4 (1 m)

Ces quatre parcelles, en sol nu, ont été labourées sur 10 cm de profondeur et ratissées soigneusement avant la première pluie simulée (protocole de WISCHMEIER). Après la quatorzième pluie, ce traitement du être de nouveau appliqué pour éliminer les repousses de graminées.

b) Couples ADR :

ADR 11 : en vue de tester une éventuelle hétérogénéité des deux parcelles ainsi que les vitesses d'infiltration sous couvert naturel, elles furent laissées enherbées pendant les cinq premières pluies. Ensuite, l'une fut labourée sur la moitié aval, l'autre sur la moitié amont.

ADR 12 : comme pour ADR 11, les parcelles furent laissées enherbées pendant les cinq premières pluies. La première fut labourée sur une moitié longitudinale, tandis que l'autre était entièrement labourée.



II.1.3.2. Les régimes de pluies

Les sols étant très filtrants, il faut, pour étudier le ruissellement et l'érosion, utiliser des intensités de pluies importantes, jamais inférieures à 60 mm/h. Sur les parcelles encore sous prairies naturelles, de très fortes intensités (120 et même 150 mm/h) ont été appliquées pour permettre le déclenchement du ruissellement. Sur les parcelles nues, ou partiellement enherbées, on a adopté un régime de pluies d'intensités croissantes (60, 90, 120) puis décroissantes (120, 90, 60) afin de pouvoir dissocier l'effet de l'intensité avec celui de l'évolution de la surface du sol.

Pendant la période des essais sur les couples ADP, du 17 février 1977 au 15 mars 1977, il n'est tombé que 27,4 mm en une seule pluie naturelle. Le total des précipitations simulées et naturelles :

| | |
|-------------------------|-----------------------|
| 12 pluies S + 1 pluie N | 679,7 mm pour ADP 1-3 |
| 12 pluies S + 1 pluie N | 676,9 mm pour ADP 2-4 |

correspond à la pluviométrie moyenne du mois de juin, enregistrée à la station météorologique du centre : 647 mm.

La période des essais sur les couples ADR, du 21 février 1977 au 22 mars 1977, a reçu 52,6 mm, répartis en trois pluies naturelles. Du fait des très fortes intensités utilisées au début des essais, le total des précipitations simulées et naturelles est très élevé :

| | |
|-----------------------------------|-----------------------|
| 12 pluies S + 3 pluies naturelles | 1010,2 mm pour ADR 11 |
| 12 pluies S + 3 pluies N | 1038,0 mm pour ADR 12 |

mais reste toutefois inférieur à la pluviométrie de juin 1976 : 1259, 9mm.

Notons cependant, que si le total des précipitations approche assez bien la pluviométrie du mois de juin, les intensités utilisées correspondent aux pluies exceptionnelles annuelle (60 mm/h pendant une heure) et septennale (120 mm/h pendant une heure) (ROOSE 1975). Il en résulte une accentuation des phénomènes.

II.1.4. Dépouillement des données de base :

Avant d'aborder les résultats concernant l'érosion lors de cette série d'essais, il convient de rappeler les grandes étapes du dépouillement des données de base.

II.1.4.1. Caractéristiques des pluies

Pour chaque pluie, on note :

- T₀ : l'heure du début de la pluie
- T_i : l'heure du début du ruissellement
- T_u : l'heure de la fin de la pluie
- T_f : l'heure de l'arrêt du ruissellement.

Deux pluviomètres linéaires de 2000 cm² permettent de connaître la hauteur totale P_u de l'averse. Afin de déterminer avec plus de précision cette hauteur et surtout d'éventuelles variations d'intensité au cours du temps, un troisième pluviomètre linéaire a été couplé à un pluviographe à mouvement rapide. Le dépouillement s'effectue en prenant les pentes du hyétogramme, on obtient ainsi I_m , l'intensité moyenne. Elle résulte de la moyenne pondérée en fonction de la durée des différentes intensités enregistrées sur le pluviographe et des intensités obtenues à partir des deux pluviomètres linéaires. On en déduit P_u , la hauteur totale de l'averse.

Au cours de l'averse, on relève, à intervalles réguliers la vitesse du vent grâce à un anémomètre totalisateur, ce qui permet par la suite, d'interpréter d'éventuelles différences de pluviométrie entre les deux parcelles.

En vue d'une analyse ultérieure du ruissellement et de l'érosion, pour chaque pluie, on précise :

- ta : le temps écoulé depuis la dernière averse
- ΣP_u : la hauteur cumulée des pluies antérieures
- te : la durée de la pluie efficace, partie de l'averse ayant donné lieu à du ruissellement sur la parcelle
- Pe : la hauteur de pluie efficace ($P_e = I_m \cdot t_e$)

II.1.4.2. Caractéristiques du ruissellement

Les eaux de ruissellement de chaque parcelle sont collectées dans une cuve munie d'un limnigraphe à mouvement rapide de très haute précision.

La pente du limnigramme au temps t correspond à l'intensité de ruissellement. Connaissant les caractéristiques des diverses cuves réceptrices et des limnigraphes, on reporte point par point les intensités de ruissellement, obtenant ainsi l'hydrogramme qui, planimétré, donne L_r la lame ruisselée, au cours de l'averse.

Il importe alors de noter, pour chaque averse, (LAFFORGUE et NAAH, 1976) :

- R_x : l'intensité de ruissellement maximale
- F_n : l'intensité minimale d'infiltration
- L_i : la lame d'eau totale infiltrée ($L_i = P_u - L_r$)
- K_{ru} : le coefficient de ruissellement global ($K_{ru} = 100 L_r/P_u$)
- K_{re} : le coefficient de ruissellement efficace ($K_{re} = 100 L_r/P_e$)
- D_s : la détention superficielle, lame d'eau ruisselée après l'arrêt de l'averse, obtenue par planimétrage de l'hydrogramme, entre les temps t_u et t_f .

Rappelons que l'hydrogramme est constitué de quatre portions de courbes :

- de t_0 à t_i , on n'observe aucun ruissellement ; $R = 0$. C'est la phase d'imbibition,
- de t_i à t_t , le ruissellement augmente jusqu'à un palier au temps t_t ; $R = f(t)$. C'est la phase transitoire.
- de t_t à t_u , le ruissellement est constant, $R = R_X$ ($R_X = I_m - F_n$). C'est la phase de régime permanent.
- de t_u à t_f , R décroît jusqu'à s'annuler à $t = t_f$, c'est la phase de vidange.

II.1.4.3. Caractéristiques de l'érosion

Comme sur les parcelles d'étude de l'érosion sous pluies naturelles, il existe, sous pluies simulées, un dispositif permettant de recueillir les terres de fond et les terres en suspension; celui-ci permet de suivre les variations d'érosion tout au long de l'averse : dès le début du ruissellement, à intervalles réguliers ensuite (généralement tous les cinq minutes), on prélève un volume déterminé (2 litres) sur les eaux ruisselées à l'issue du canal, en notant l'heure de chaque prélèvement.

A ce volume, on ajoute 4 cm^3 de sulfate d'alumine à 5%, afin de favoriser la floculation des argiles. Le sédiment, une fois sec, donne la turbidité moyenne pendant la durée du prélèvement. Pour chaque prélèvement, on multiplie cette turbidité par le ruissellement correspondant obtenu à partir de l'hydrogramme, on obtient alors le débit solide.

Les différents points obtenus en fonction du temps permettent de tracer le turbidigramme, ainsi que la courbe des débits solides en fonction du temps. L'étude de ces courbes fait apparaître certains points remarquables :

C_s : pic de turbidité (g/l) intervenant dans les premières minutes de ruissellement

C_x : turbidité correspondant au ruissellement maximale R_X

Q_s : débit solide en (g/h/m^2) correspondant à C_s : $Q_s = C_s \cdot R_s$

Q_x : débit solide correspondant à C_x : $Q_x = C_x \cdot R_x$

II.1.4. Analyse et modélisation de l'évolution des turbidités sous pluies simulées

II.1.4.1. Etude comparée de quelques turbidigrammes

La présentation des 96 turbidigrammes obtenus à partir des 48 pluies simulées serait fastidieuse (cf. annexes). 37 d'entre eux sont plats, les pluies correspondantes n'ayant donné lieu à aucun ruissellement. L'observation des 59 autres amène à distinguer, dans un premier temps, deux phases principales, correspondant à celles du ruissellement : phase transitoire
phase du régime permanent.

Nous n'étudierons pas la portion de turbidigramme associée à la phase de vidange, aucun prélèvement n'ayant été réalisé après l'arrêt de l'averse. Arbitrairement, nous convenons que la turbidité s'annule à la fin du ruissellement et que la forme du turbidigramme pendant cette phase est proche de celle de l'hydrogramme.

a) Phase transitoire

On observe, sur un grand nombre de turbidigrammes, des valeurs élevées de la turbidité lors du ou des premiers prélèvements. Au début des dépouillements, ces valeurs furent considérées comme constituant un pic de turbidité, survenant après une augmentation rapide dès le début du ruissellement. Or rien ne prouve que la turbidité soit très faible au temps $t = t_i + dt$, au contraire :

$C = \frac{Q}{R}$, on peut penser que au temps $t = t_i + dt$, $R = \epsilon$, avec $\epsilon \sim 0$. Si la quantité de terre mise en mouvement Q , est non négligeable et varie peu sur un intervalle court, la portion de turbidigramme théorique entre t_i et le premier prélèvement pourrait être assimilée à une branche décroissante d'hyperbole admettant la droite $x = t_i$ comme asymptote.

Ne disposant pas de valeurs expérimentales de C dès le début du ruissellement, nous n'avons pas tracé les turbidigrammes, entre t_i et le premier prélèvement. Il est à souhaiter que lors des prochains essais, les prélèvements débutent dès l'apparition du ruissellement.

A titre d'exemple, nous présentons tous les turbidigrammes obtenus sur la parcelle ADR 11, après labour. Afin de reporter les 5 turbidigrammes sur une même page, nous avons limité les durées à 25 minutes, temps au bout duquel le régime permanent est largement atteint. (cf. fig. N°s 37 à 43).

L'examen de ces turbidigrammes appelle certaines remarques :

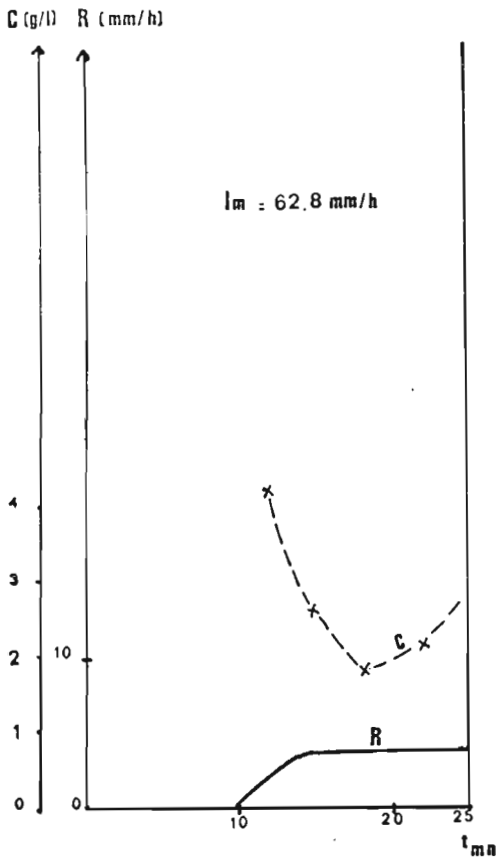
- le pic de turbidité C n'apparaît pas sur toutes les courbes ; il se manifeste lors des quatre pluies séparées par peu de temps de la précédente (de 20 à 25 minutes). Il n'existe pas, par contre, lorsque la durée entre deux pluies est longue : 48 heures pour ADR 712.

Ce même phénomène s'observe sur la série d'hydrogrammes présentée plus loin (ADP 211a à ADP 711d parcelle 1) et donnée comme celle-ci à titre d'exemple. (cf. figures N°s 44 à 50).

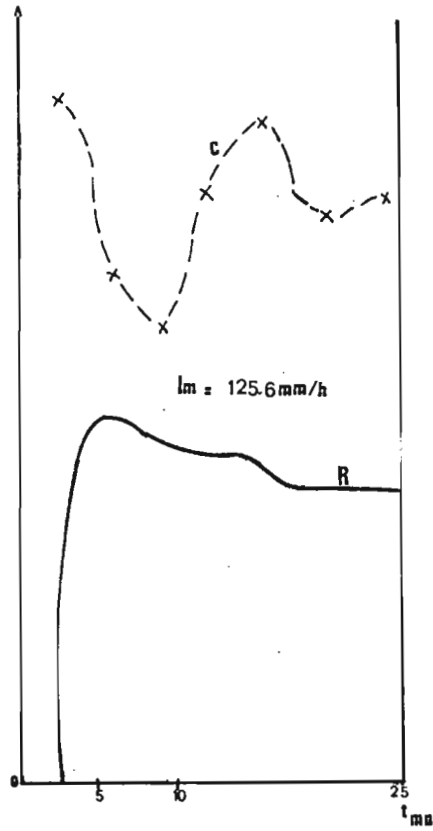
- la turbidité du premier prélèvement dépend apparemment de la turbidité C_x du régime permanent de la pluie précédente. Ainsi, pour les pluies suffisamment rapprochées, deux cas seraient à envisager :

- la première pluie a une intensité inférieure à celle de la seconde, alors C_s dépendrait essentiellement de l'intensité d'averse. (ADR 611 a, ADP 411 a, ADP 511 a)
- la première pluie a une intensité égale ou supérieure à celles de la seconde, alors C_s serait égale à la turbidité C_x , correspondant au régime permanent de la pluie précédente.

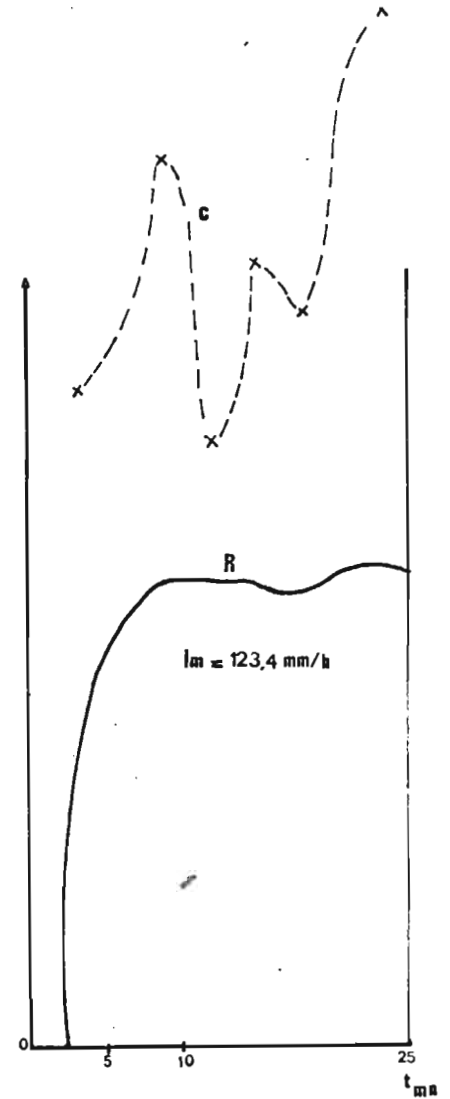
FIG. N^{OS} 39 à 43 : HYDROGRAMMES ET TURBIDIGRAMMES DE QUELQUES PLUIES SIMULEES



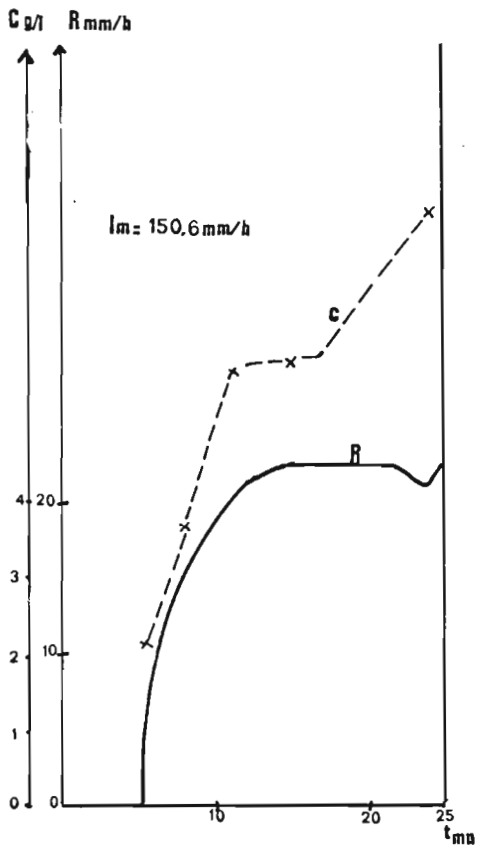
39 : ADR 511b



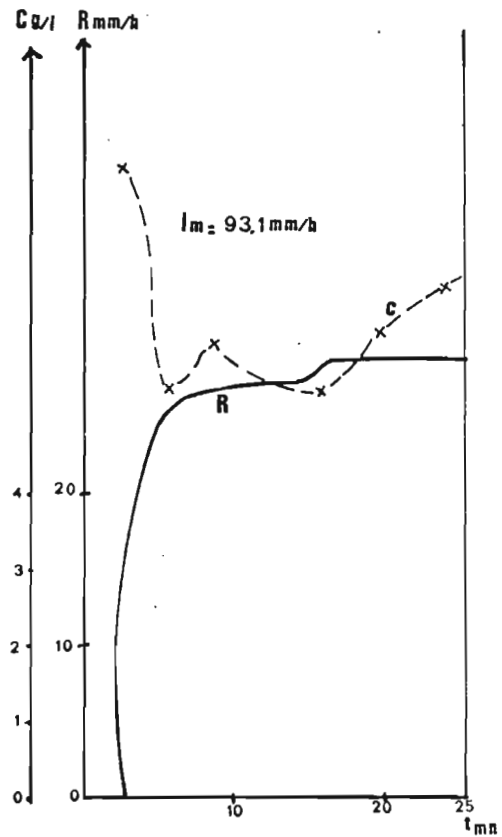
40 : ADR 611a



41 : ADR 61b



42 : ADR 711



43 : ADR 811

Ces remarques amènent à formuler les hypothèses suivantes :

1) Pendant la phase de vidange (chute brutale du ruissellement après l'arrêt de la pluie) une partie des matériaux transportés se déposent sur place et n'atteignent pas le canal. Si la seconde pluie survient après un laps de temps très court (de 20 à 25 minutes), les premiers millimètres de ruissellement entraînent ces matériaux encore humides et donc très facilement exportables. Nous désignerons par Q_{st} , ce débit solide dû à la terre érodée provenant d'un stock initial laissé par la pluie précédente. A contrario, si le temps séparant les deux pluies est suffisamment long pour permettre le ressuyage des parcelles (environ 12 heures, sur ces terres sableuses), les sédiments ne sont pas repris immédiatement par le ruissellement et le pic n'apparaît pas.

2) Le pic C_s dépend aussi de l'intensité de la pluie, mais ne varie pas avec le ruissellement de la phase transitoire (cf. remarques précédentes). On peut penser qu'une partie des matériaux transportés proviennent de l'érosion due au splash, directement corrélée à l'énergie cinétique et donc à l'intensité de la pluie. Nous désignerons par Q_{sp} , la quantité de terre érodée par le splash en unité de temps et de surface.

3) Pendant les premiers instants de la phase transitoire, la quantité de terre érodée Q_s est la somme des deux quantités précédentes :

$$Q_s = Q_{spt} + Q_{st}$$

b) Régime permanent

A titre d'exemple, nous présentons ici la série complète de turbidigrammes obtenus sur la parcelle ADP 1. Les remarques que nous serons amenés à faire sur l'évolution de la turbidité C_x au cours de ces 9 averses pourraient être reprises, à quelques nuances près, pour les autres parcelles.

Pluies ADP 211a, 311c et 311d : $I_m \sim 60$ mm/h (cf. fig. N°s 44 à 46)
.....

Au cours de ces trois premières pluies de même intensité, l'intensité de ruissellement R_x augmente considérablement tandis que la durée de la pluie d'imbibition diminue. Par contre les valeurs de C_x restent sensiblement constantes (1,2 g/l). Quelle que soit la valeur du ruissellement, C_x restant constant, on aurait :

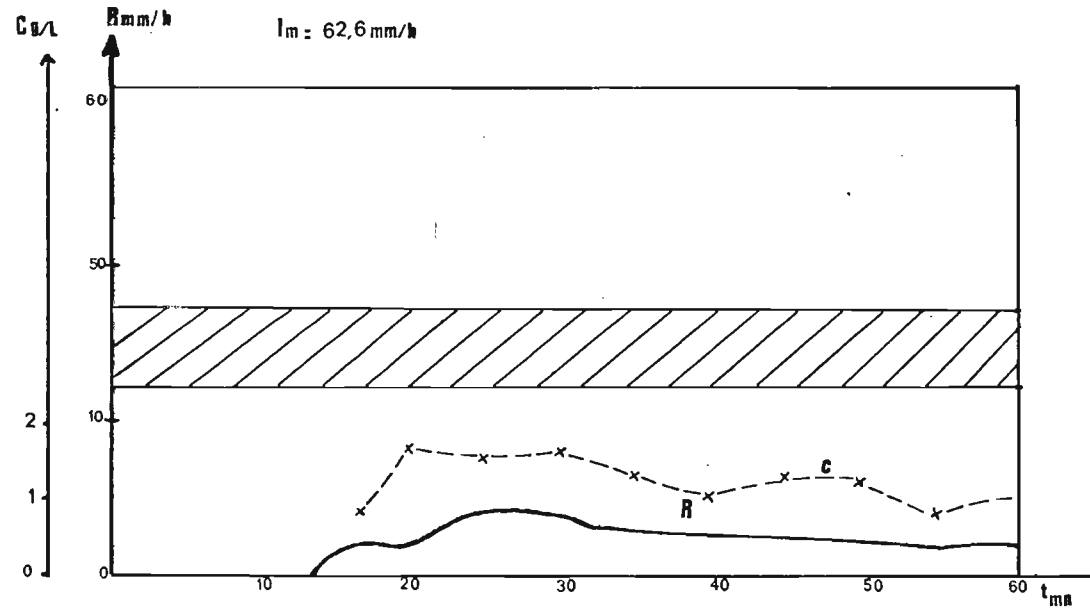
$$Q_x = R_x \cdot C^{te} \quad (C^{te} = C_x)$$

Cette relation serait caractéristique de l'érosion en nappe.

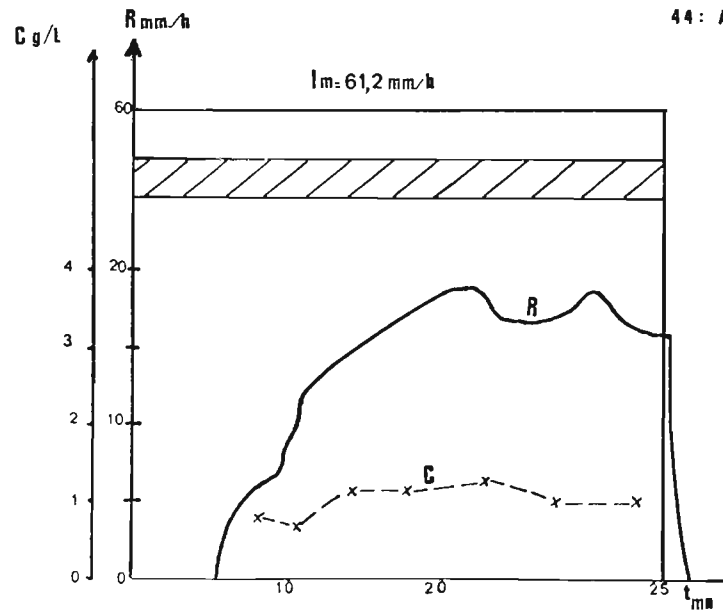
Pluies ADP 411a et 411b : $I_m \sim 90$ mm/h (cf. fig. N°s 47 et 48)
.....

Cette fois-ci, la turbidité ne se stabilise pas dès le début de la première pluie, mais croît régulièrement pour se maintenir à une valeur plus élevée (9 g/l) à la fin de la seconde pluie. Notons une fois de plus l'indépendance de C_x vis à vis de R_x : pour une intensité de ruissellement sensiblement égale à celle des pluies précédentes, la turbidité est 8 fois plus importante. Ces deux remarques nous conduisent à émettre l'hypothèse de la mise en place progressive lors de la pluie ADP 411a, d'une nouvelle forme d'érosion. Il s'agirait de l'érosion par cisaillement provoquée par l'apparition, visible sur la parcelle, d'un micro-système hydrographique, accompagné de phénomènes de micro-effondrements de berges.

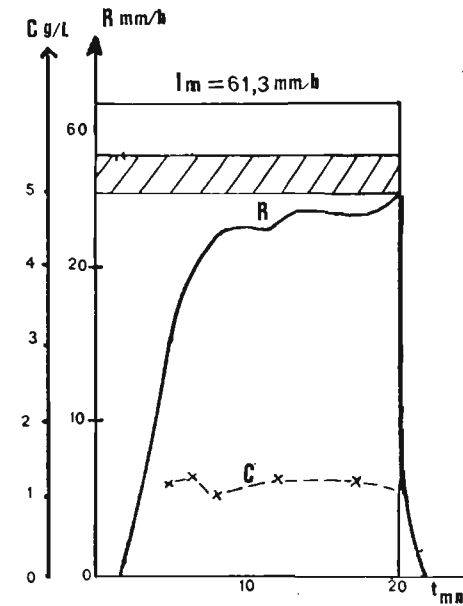
QUELQUES PLUIES SIMULEES



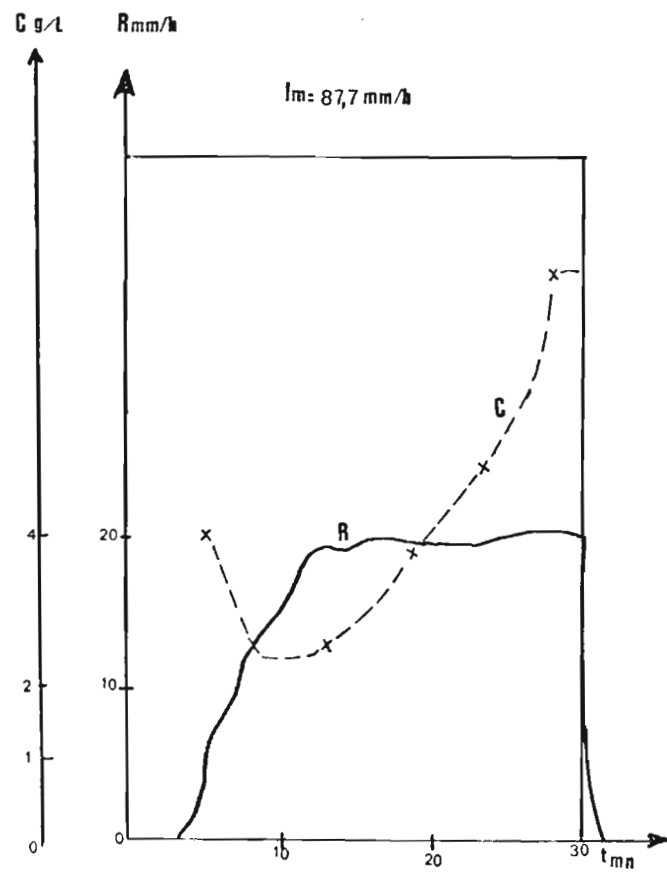
44 : ADP 211a



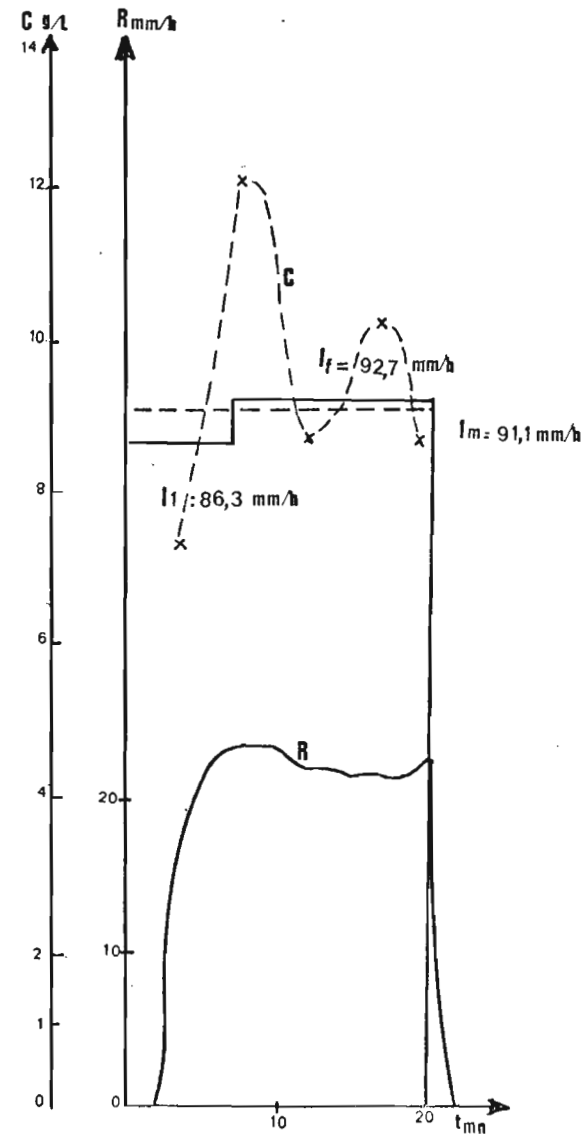
45 : ADP 311c



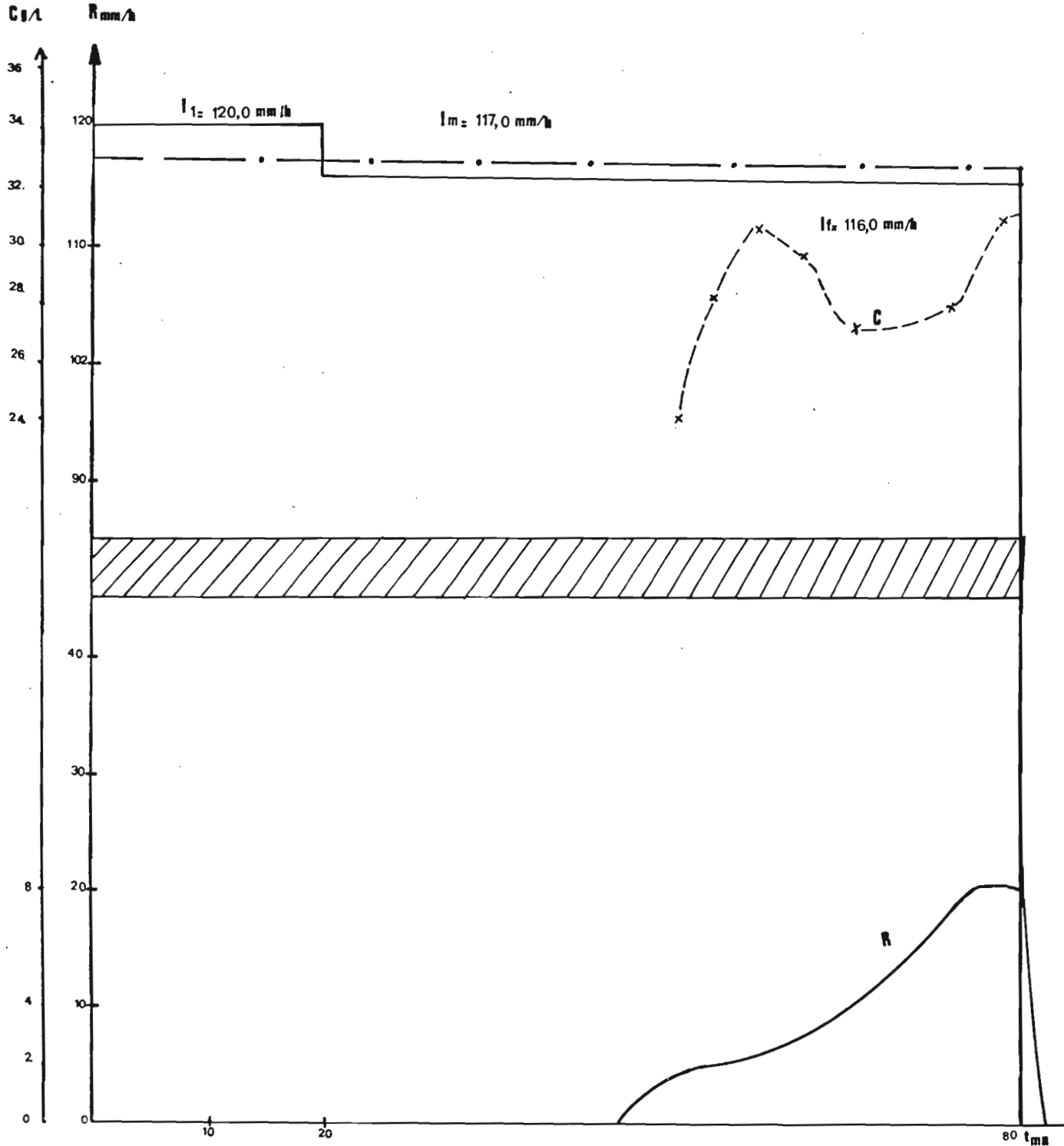
46 : ADP 311d



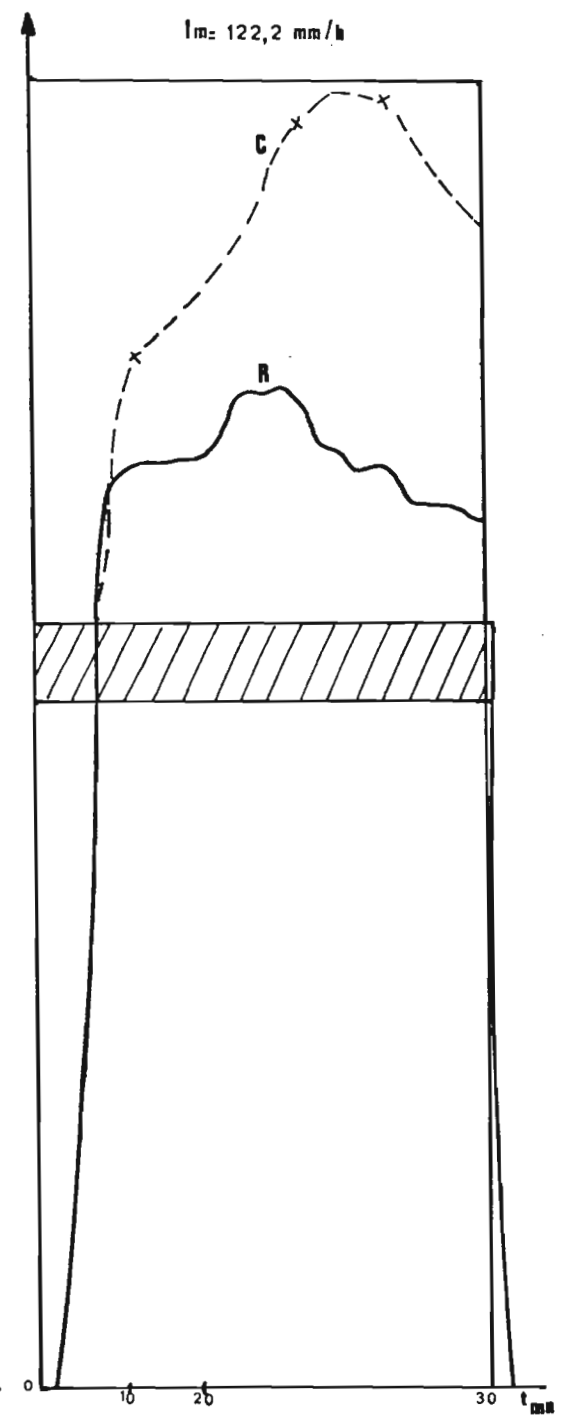
47 : ADP 411a



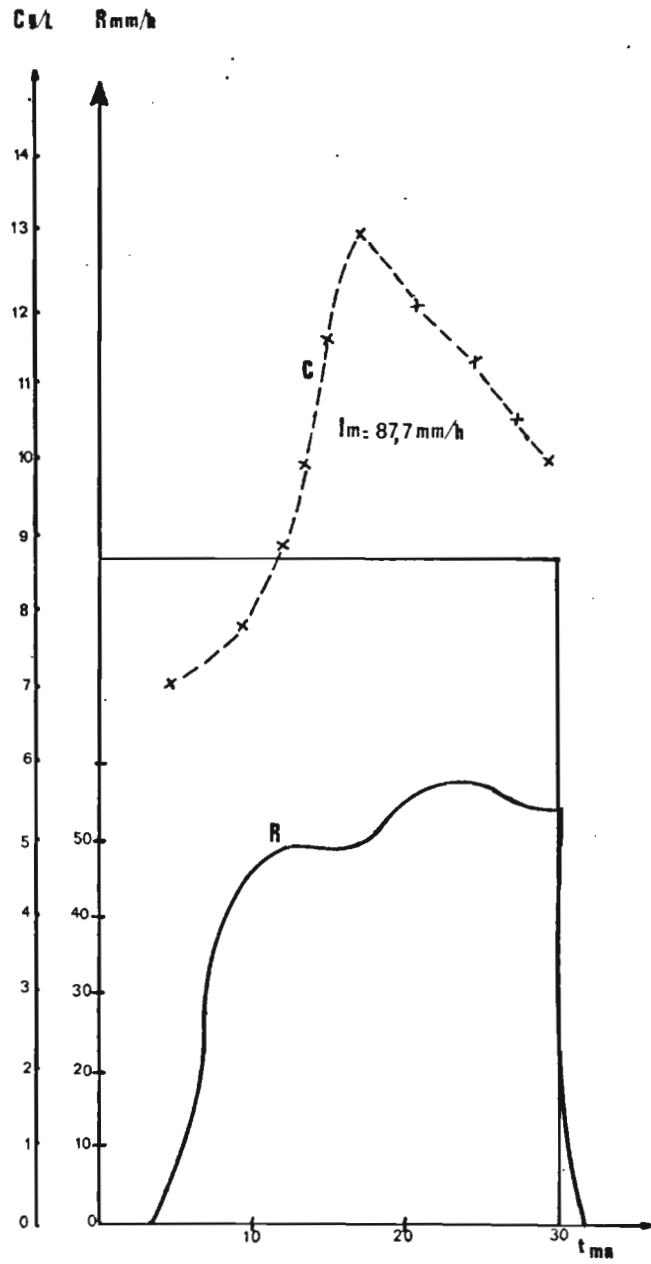
48 : ADP 411b



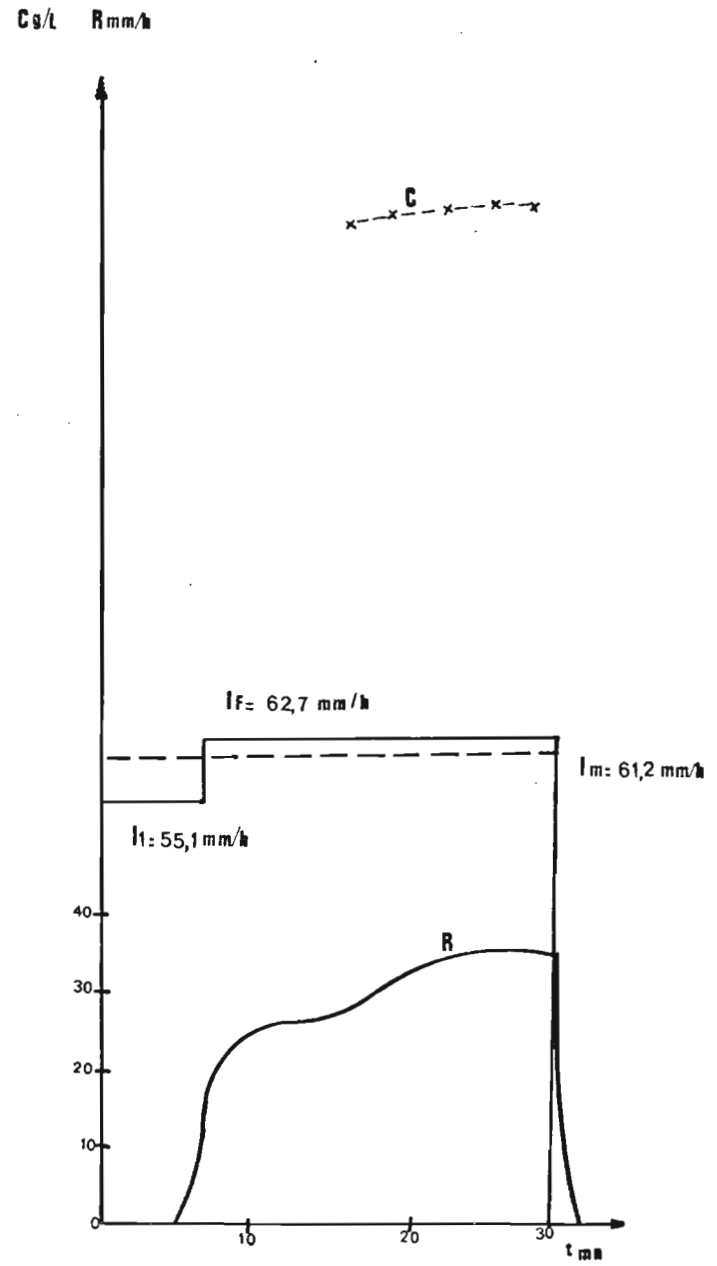
49: ADP 511a (après second labour)



50: ADP 511a



51 : ADP 711c



52 : ADP 711d

Nous désignerons par Q_c la partie du débit solide Q due à cette cause et par E_c les pertes en terres correspondantes.

Pluies ADP 511a et 611c : $Im \sim 120$ mm/h (cf. fig. N° 48 et 49)

Ces pluies surviennent après un second labour, et donc la destruction du microréseau hydrographique. Comme pour les trois premières pluies, la turbidité semble se stabiliser dès le début de ADP 511a et rester ensuite indépendante de l'intensité de ruissellement ($C_x \sim 30$ g/l). Notons que cette turbidité limite est 25 fois plus forte à 120 mm/h qu'à 60 mm/h, mais il ne nous est pas possible de distinguer l'effet intensité de l'effet état hydrique du sol.

Pluie ADP 711c : $Im \sim 90$ mm/h (cf. fig. N° 50)

La forme de l'hydrogramme rappelle celle de ADP 411a (90 mm/h) et correspondrait à la mise en place du microsytème hydrographique. La valeur de C_x est encore une fois indépendante de R_x . Elle résulterait de l'intensité et de l'état hydrique de la parcelle. Ce deuxième labour intervient sur un sol ayant déjà reçu une lame cumulée de 347 mm.

Pluie ADP 711d : $Im \sim 60$ mm/h (cf fig. N° 51)

A intensité égale la turbidité de cette pluie est 11 fois supérieure à celles des premières pluies. Il est difficile de discerner l'importance relative de la mise en place du réseau hydrographique et de l'état hydrique de la parcelle (fluidité etc...)

En résumé, il semble que la valeur de C_x , pour une même parcelle varie essentiellement en fonction de :

- l'intensité Im de l'averse
- l'état hydrique de la parcelle (fonction de t_a et P_a , respectivement temps écoulé depuis l'averse précédente et hauteur de la pluie précédente)
- la mise en place d'un microréseau hydrographique.

II.1.4.2. Essai d'interprétation des turbidigrammes

L'observation des turbidigrammes nous a amenés à poser certaines hypothèses concernant les différentes formes d'érosion, nous rappelons ici leur évolution supposée au cours d'une averse :

a) Etude des différentes composantes du débit solide
(cf. fig. N° 53)

1) Q_{st} :

de t_0 à t_i : Q_{st} reste constant $Q_{st} = Q_{sti}$

avec $Q_{sti} \sim Q_{sta}$, Q_{sta} , étant égal au débit solide total à la fin de l'averse précédente.

de t_i à t_1 : Q_{st} est une fonction décroissante de R et s'annule au temps $t = t_1$ lorsque le stock initial est épuisé.

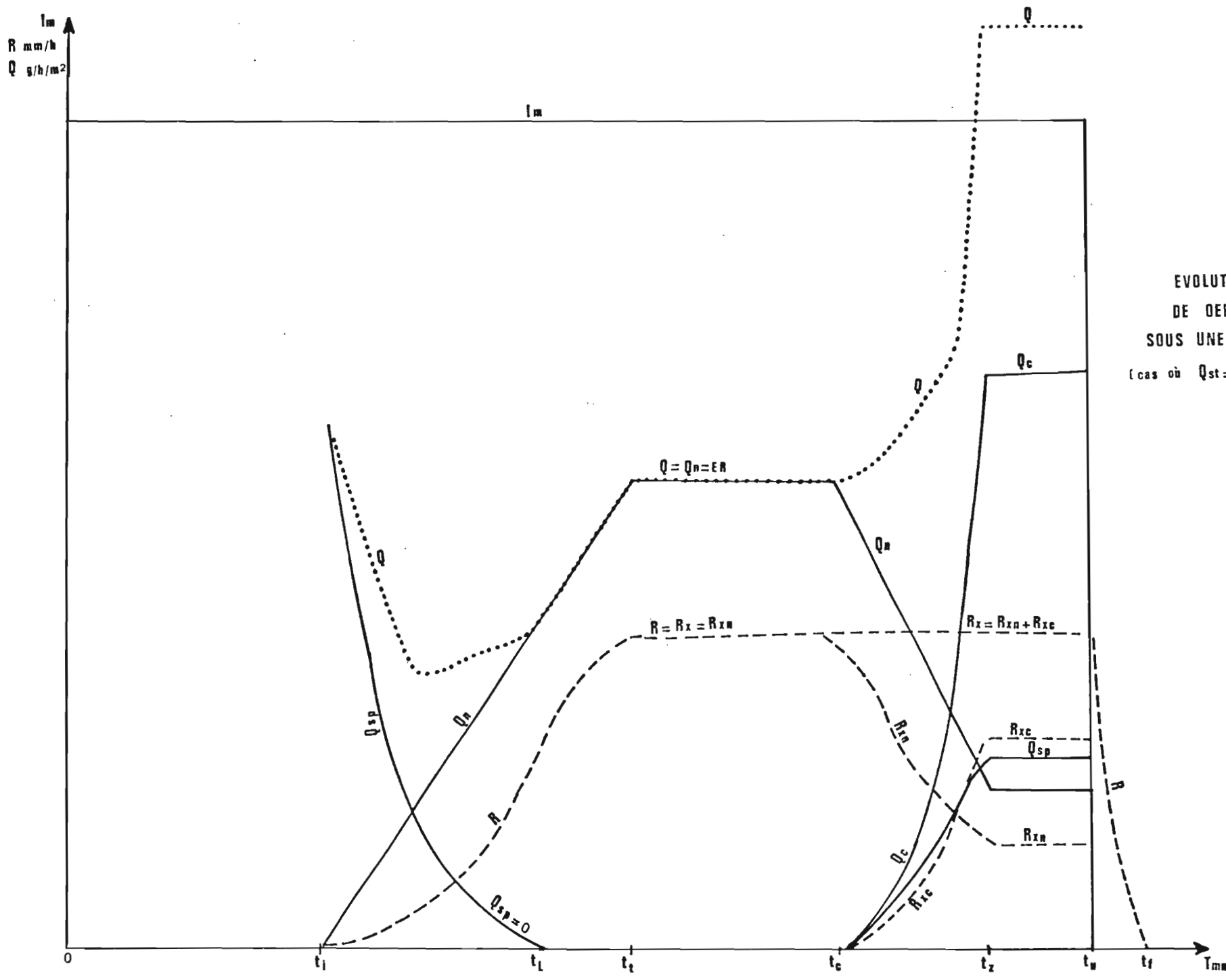


Fig. N° 53

EVOLUTION THEORIQUE
 DE DEBITS SOLIDES
 SOUS UNE PLUIE SIMULEE
 (cas où $Q_{st}=0 : t_a > 12h.$)

paramètres :
 $e = 1,5$
 $d = 1,8$
 $n = 1,5$

La courbe en S de R lors de la phase transitoire est, dans le cas idéal, (LAFFORGUE, 1977) une sigmoïde :

$$R = R_X \operatorname{th}^2 \left[\frac{R_X (t - t_i)}{A} \right], \text{ A étant une caractéristique de la parcelle.}$$

En son point d'inflexion, cette courbe admet pour tangente la droite de pente

$$p_i = \frac{4}{A} \left(\frac{R_X}{3} \right)^{3/2}$$

dans la suite des calculs, en vue de simplifier, nous assimilerons cette portion de sigmoïde au segment de droite d'équation :

$$R = p_i (t - t_i)$$

Par une autre simplification, nous assimilons la fonction Q_{st} à la fonction linéaire suivante :

$$Q_{st} = -s p_i (t - t_i) + Q_{sti} \quad \text{avec S facteur positif}$$

et

$$0 = s p_i (t_s - t_i) + Q_{sti} \quad \text{d'où } t_s = t_i + \frac{Q_{sti}}{p_i}$$

Notons que ces simplifications se justifient surtout pendant une phase transitoire courte.

2) Q_{sp} :

L'érosion due à l'effet "splash" est une fonction linéaire de l'énergie des gouttes de pluie, et donc de l'intensité I_m . Pendant la phase d'imbibition, l'intensité du splash croît avec l'état d'humectation de la parcelle jusqu'à l'apparition d'une lame d'eau. Cette lame d'eau apparaît au temps t_i , dans l'hypothèse d'une parcelle parfaitement plane, au temps t_1 en réalité lorsque se forment les premières flaques.

($t_1 < t_i$). Cette lame d'eau amortit le choc des gouttes de pluie et a pour hauteur D_m , avec $D_m = A \sqrt{R}$.

Q_{sp} est une fonction décroissante de D_m , nous émettons l'hypothèse que la diminution de Q_{sp} est linéaire en fonction de D_m

$$Q_{sp} = -k D_m + Q_{spi}$$

avec $Q_{spi} = l I_m$ (k et l constantes positives).

Dans l'hypothèse d'une parcelle rigoureusement plane ($t_1 = t_i$) :

$$Q_{sp} = -k A p_i (t - t_i) + l I_m \text{ pendant la phase transitoire et}$$

$$Q_{sp} = -k A R_X + l I_m$$

Dans le cas de la mise en place d'un microréseau hydrographique, la parcelle n'est plus plane. Si le ruissellement R_X reste constant et que l'on distingue le ruissellement en nappe R_{Xn} du ruissellement en rigoles R_{Xc} , on a :

$R_X = R_{Xn} + R_{Xc}$, avec, par conséquent $R_{Xn} < R_X$, une augmentation de Q_{st} due à la diminution de D_m .

Ce réseau se stabilisant en fonction d'un ruissellement R_{Xn} limite, on a un deuxième régime permanent où :

$$Q_{sp} = -k \sqrt{A R_{Xn} + 1} I_m$$

Ces différentes relations mettent en relief l'importance de l'intensité I_m pendant toutes les phases.

3) Q_n :

Nous considérons que l'érosion due au ruissellement en nappe est une fonction linéaire de l'intensité de ruissellement :

$$Q_n = e R \quad \text{avec } e > 0$$

pendant la première phase transitoire :

$$Q_n = e p_i (t - t_i)$$

pendant le premier régime permanent :

$$Q_n = e R_x \quad \text{avec } R_x = R_{Xn}$$

4) Q_c :

Dès l'apparition du ruissellement R_{Xn} , s'établit un nouveau régime transitoire pendant lequel s'installe une nouvelle forme d'érosion : Q_c

L'observation précédente des courbes a montré la très forte augmentation de la turbidité après la mise en place de ce réseau, voilà pourquoi nous émettons l'hypothèse d'une fonction polynomiale et non linéaire :

$$Q_c = d R_c^n \quad \text{avec } d > 0 \text{ et } n > 1$$

b) Evolution de la turbidité au cours des différentes phases : (cf. fig. N° 54)

1) Première phase transitoire

La turbidité étant égale à Q/R , et $Q = Q_{st} + Q_{sp} + Q_n$, on a :

$$Q_{st} = -s p_i (t - t_i) + Q_{sti} \quad k A \sqrt{p_i (t - t_i) + 1} I_m + e p_i (t - t_i)$$

$$\text{d'où } C = -s - k A \{p_i (t - t_i)\}^{-1/2} + \frac{Q_{sti} + 1 I_m + e}{p_i (t - t_i)}$$

$$C = \frac{(e-s) p_i (t - t_i) - k \sqrt{p_i (t - t_i) + 1} I_m + Q_{sti} + 1 I_m}{p_i (t - t_i)}$$

Cette fonction homographique admet bien $t = t_i$ comme asymptote.

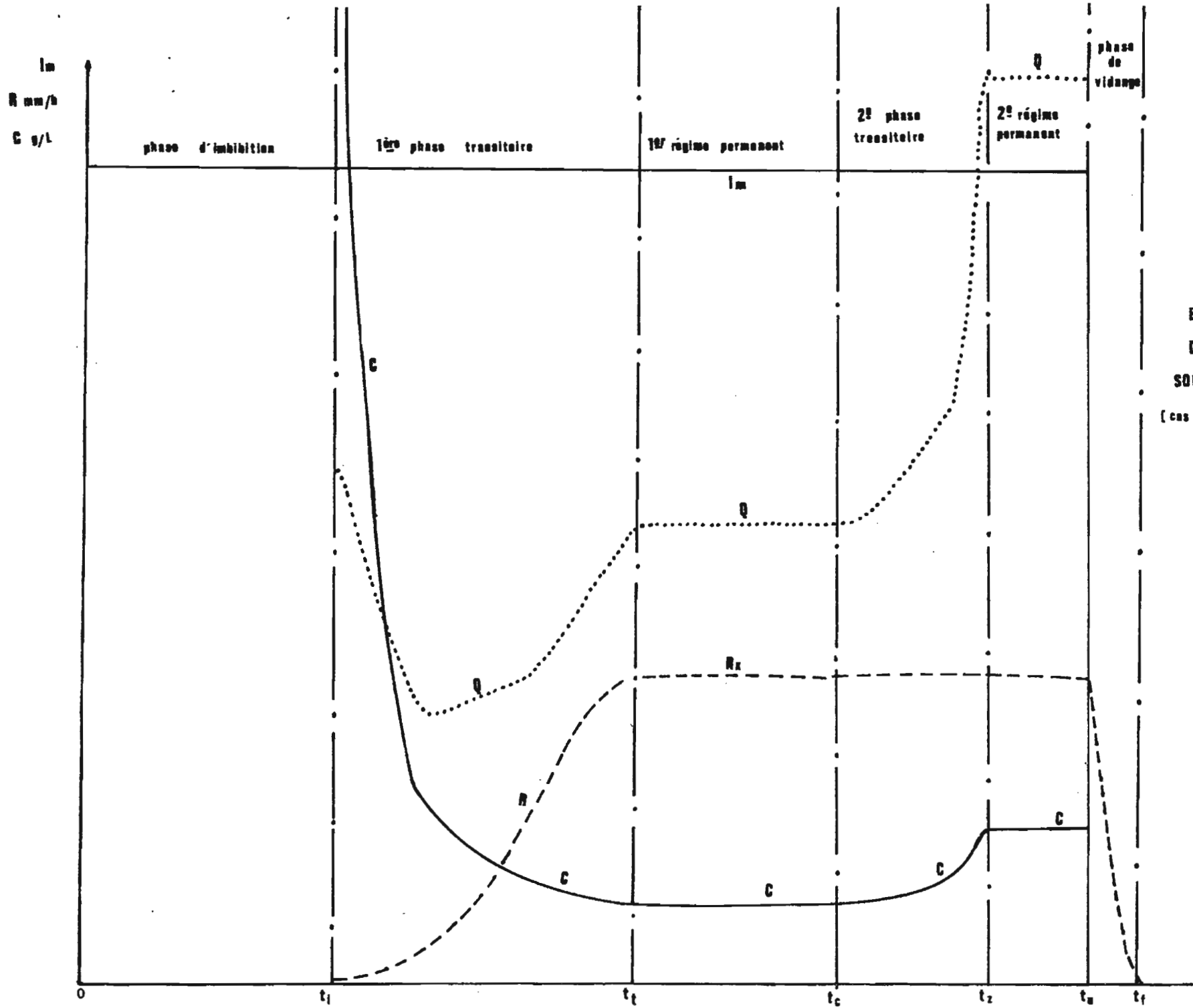


Fig. N° 54 :

EVOLUTION THEORIQUE
DE LA TURBIDITE C
SOUS UNE PLUIE SIMULEE
[cas où $Q_{st} = 0 : t_a > 12h$]

2) Premier régime permanent

A partir de t_u , $R_x = R_{xn}$ est constant. Si $t_1 < t_u$, $Q_{st} = 0$

$$Q = Q_{sp} + Q_n$$

$$Q = -k A \sqrt{R_x} + 1 I_m + e R_x$$

$$C = -k A (R_x)^{-1/2} + \frac{1 I_m}{R_x} + e$$

$$C = \frac{1 I_m - k A \sqrt{R_x}}{R_x} + e$$

Or nous avons constaté, sur les hydrogrammes une indépendance de C vis à vis de R_x . Ceci tend à montrer que le rapport $\frac{1 I_m - k A \sqrt{R_x}}{R_x}$ est voisin de zéro et qu'avant l'installation d'un microréseau hydrographique, la turbidité du régime permanent ne dépend que de e , constante d'érosivité de la parcelle (érosion en nappe) dans des conditions d'humectation données.

3) Deuxième régime transitoire

$$Q = Q_n + Q_{sp} + Q_c$$

$$Q = e (R_x - R_{xc}) - k A \sqrt{R_x - R_{xc}} + d R_{xc}^n$$

Si l'on assimile la courbe $R_{xc} = f(t)$ entre t_c début du ruissellement en rigoles et t_z la stabilisation du réseau hydrographique, à une droite de pente P_c : $R_{xc} = P_c (t - t_c)$ avec $t_c < t < t_z$

$$Q = e R_x - e P_c (t - t_c) - k A \sqrt{R_x - P_c (t - t_c)} + d P_c^n (t - t_c)^n + 1 I_m$$

et

$$C = e + \frac{P_c}{R_x} (t - t_c) (d P_c^{n-1} (t - t_c)^{n-1} - e) - \frac{k A}{R_x} \sqrt{R_x - P_c (t - t_c)} + \frac{1 I_m}{R_x}$$

La turbidité est une fonction croissante du temps, du fait de l'apparition de l'érosion par cisaillement et par la reprise du splash.

4) Deuxième régime permanent

Soit R_{xcz} le ruissellement en rigoles au temps t_z :

$$R_{xcz} = P_c (t_z - t_c)$$

$$C = e \left(1 - \frac{R_{xcz}}{R_x}\right) - \frac{k A}{R_x} \sqrt{1 - \frac{R_{xcz}}{R_x}} + d \frac{R_{xcz}^n}{R_x} + \frac{1 I_m}{R_x}$$

Si le réseau hydrographique collecte la quasi totalité des eaux ruisselées, $R_{xcz} \sim R_x$ et $\frac{R_{xcz}}{R_x} \sim 1$, dans ce cas limite, on a :

$$C = \frac{d R_x^n + 1 I_m}{R_x}$$

La turbidité ne dépend plus alors que de l'intensité et du ruissellement.

II.1.4.3. Etude d'un exemple de modélisation

Prenons, comme exemple simple, la pluie ADR 512a sur la parcelle 1 : il s'agit de la première pluie donnant lieu à du ruissellement après le labour de la partie aval. Il n'y a donc ni réseau hydrographique préexistant, ni stock résiduel. Les seules composantes du débit solide à considérer sont celles dues au splash: (Q_{sp}) et au ruissellement en nappe (Q_n).

Six prélèvements ont eu lieu :

Tableau N° 23 : Exemple de l'évolution de la turbidité et du débit solide au cours d'une pluie simulée.

| ADR 512 a : $I_m = 61,5$ mm/h | | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|-------------------|--------------------------------------|
| Prélèvement au temps t (minutes) | Ruissellement correspondant R (mm/h) | Turbidité C (g/l) | Débit solide Q (g/h/m ²) |
| 16 | 1,7 | 2,56 | 4,35 |
| 20 | 2,2 | 1,22 | 2,68 |
| 24 | 2,5 | 1,23 | 3,07 |
| 30 | 2,8 | 1,42 | 3,97 |
| 36 | 3,0 | 1,36 | 4,08 |
| 42 | 3,3 | 1,17 | 3,86 |

Si l'on retient les hypothèses développées précédemment, on a :

$$Q_{sp} = -k A \sqrt{R + 1} I_m$$

$$Q_n = e R$$

En régime permanent $C = e$, nous prenons pour e la moyenne des trois dernières turbidités : $e = 1,316$

Au temps $t = 16$, les calculs donnent :

$$Q_{sp} = -k A \sqrt{1,7 + 1} \times 61,5$$

$$Q_n = 1,316 \times 1,7 = 2,24$$

$$Q = 4,35$$

Au temps $t = 20$:

$$Q_{sp} = -k A \sqrt{2,2 + 1} \times 61,5$$

$$Q_n = 1,316 \times 2,2 = 2,90$$

$$Q = 2,68.$$

De ce système d'équations, on tire : $k A = 10,54$

$$1 I_m = 11,62$$

La valeur de R, pour laquelle, l'érosion due au splash devient nulle est

$$R = \left(\frac{1 I_m}{k A} \right)$$

$$R = 1,22 \text{ mm/h.}$$

Ce ruissellement est déjà atteint à la vingtième minute. On observe bien après, une remontée du débit solide.

La figure N° 55 compare courbes expérimentales et courbes obtenues après calculs. Cet exemple permet de constater que l'érosion due au splash diminue très vite, même lors d'une longue phase transitoire lente et s'annule pour des ruissellements de faible intensité et donc une faible hauteur d'eau en surface. Réciproquement, pour une faible diminution de cette lame d'eau (lors de la mise en place du réseau hydrographique notamment) la reprise du splash doit être très rapide. Ceci confirme, une fois de plus, l'extrême importance de la couverture du sol, même infime ($R = 1,22 \text{ mm/h}$), dans la protection contre le choc des gouttes de pluie. La lame ruisselée jouerait un rôle d'écran protecteur, très vite efficace. L'essentiel de l'érosion ne proviendrait pas alors du ruissellement en nappe mais du ruissellement en rigoles, avec la mise en place d'une nouvelle forme d'érosion bien plus grave par cisaillement) et par la reprise du splash.

Il est à noter que le cas des parcelles aplanies (conditions expérimentales) est peu fréquent dans la nature, et que le microréseau hydrographique doit s'établir dès les premières averses.

II.1.4.5. Conclusion

Ces divers essais ont permis la mise en évidence de divers phénomènes :

- existence d'un pic de turbidité en début de ruissellement
- l'effet rémanent de la pluie précédente (turbidité en fin de pluie et durée de ressuyage) sur la résistance à l'érosion en début d'averse.
- l'effet protecteur de la lame ruisselée (détention superficielle) vis à vis du splash.

Enfin, plusieurs hypothèses ont été émises concernant les deux systèmes érosifs : nappe et rigoles. Ces essais de modélisations devraient être poussés plus avant lors de prochains essais afin d'approfondir l'analyse des mécanismes de l'érosion.

II.1.5. Analyse du facteur topographique sur les pertes en terre :

II.1.5.1. But de l'étude

L'implantation des parcelles cultivées doit tenir compte de la topographie pour limiter les risques d'érosion. De nombreux auteurs ont cherché à évaluer quantitativement ces pertes en terre en fonction de la longueur des parcelles (L) et de l'inclinaison de la pente (i pour les francophones, S pour les anglo-saxons).

ZINGG (1940) a proposé une équation empirique mettant en relation les quantités érodées (A) et le facteur topographique (S.L) :

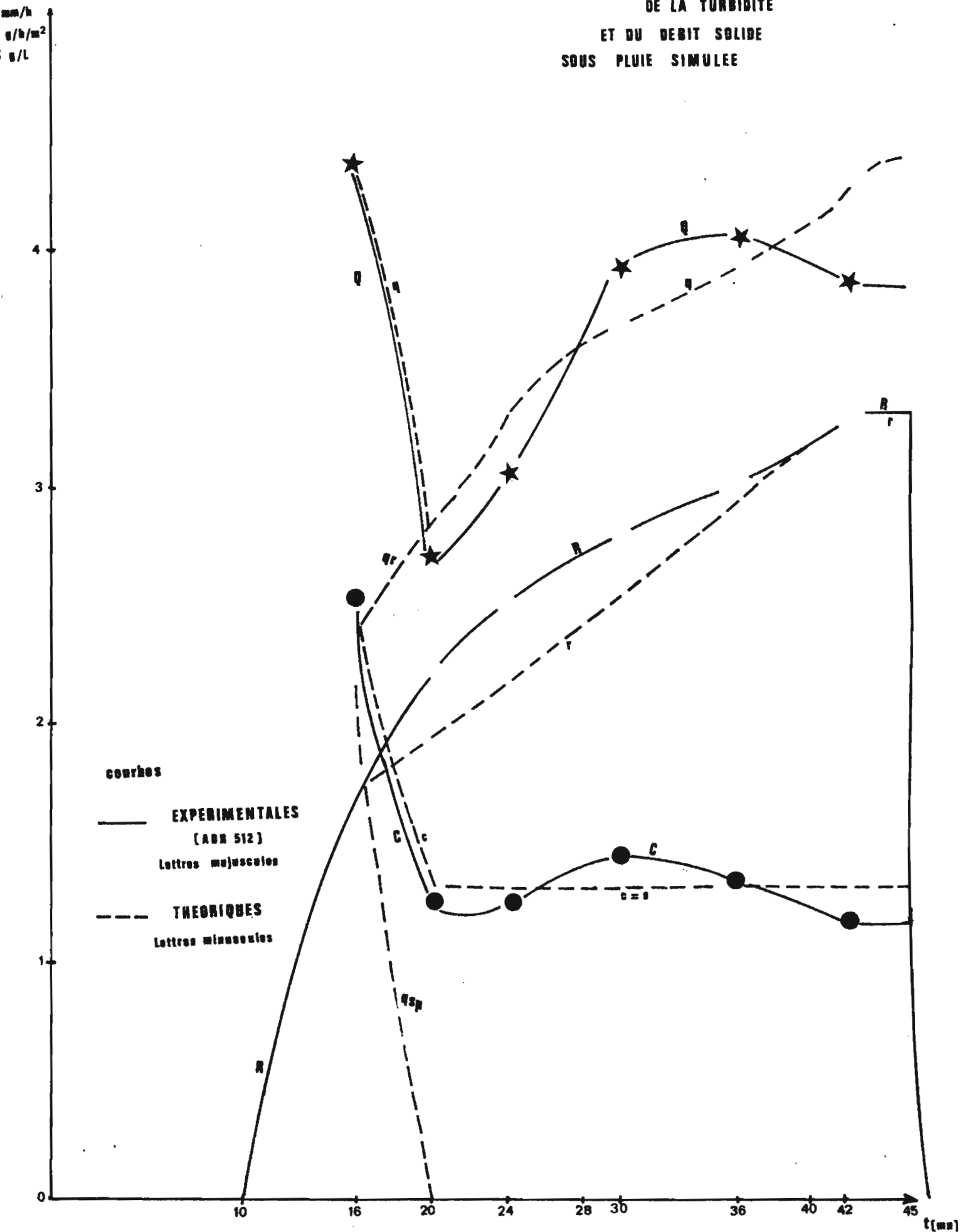
$$A = CS^m L^{n-1}$$

avec :

C = constante (dépendant des autres facteurs et des unités) n et m = exposants >1

Fig. N° 55 :

ESSAI DE MODELISATION
DE LA TURBIDITE
ET DU DEBIT SOLIDE
SOUS PLUIE SIMULEE



Ses différents essais l'ont amené à déterminer les valeurs de m et de n . Ainsi, pour des prévisions d'érosion, il conseille d'utiliser la relation :

$$A = CS^{1.4}L^{0.6}$$

WISCHMEIER et SMITH (1960) considèrent que la courbe $E = f(i)$ (érosion en fonction de l'inclinaison de la pente) s'ajuste mieux sur une parabole que sur une exponentielle et proposent :

$$E = C i^{n-1} (0,76 + 0,53 S + 0,076 S^2)$$

L'exposant $(n-1)$ semble varier considérablement en fonction de la nature du sol. Ils adoptent cependant la valeur de 0,5 pour l'utilisation de l'"équation universelle" de prévision d'érosion. En fait, fixant tous les autres facteurs de variations (y compris celui de l'agressivité climatique) le simulateur de pluies permet de préciser l'influence du facteur longueur de pente pour ce type de sol.

II.1.5.2. Résultats

Tableau N° 24 : Caractéristiques des pluies et de l'érosion sur le couple (10 m - 2 m)

Couple ADP 1-3 ($l_1 = 10$ m ; $l_3 = 2$ m)

| Averses | I_p (mm/h) | E_c (J/mm/m ²) | P_u (mm) | ΣEC (J/m ²) | E_{p1} (kg/ha) | E_1 (kg/ha) | E_{p3} (kg/ha) | E_3 (kg/ha) |
|----------|-----------------|---------------------------------|---------------|------------------------------------|---------------------|------------------|---------------------|------------------|
| ADP 111a | 60 | 40,9 | 110,5 | 4519,45 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ADP 211a | 60 | 40,9 | 62,5 | 2556,25 | 27,7 | 27,7 | 23,9 | 23,9 |
| ADP 211b | 60 | 40,9 | 16,1 | 658,48 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ADP 311a | 60 | 40,9 | 35,7 | 1460,13 | 92,7 | 92,7 | 74,6 | 74,6 |
| ADP 311b | 60 | 40,9 | 20,4 | 834,36 | 78,6 | 78,6 | 85,7 | 85,7 |
| ADP 411a | 90 | 31,4 | 43,8 | 1375,32 | 601,0 | 601,0 | 366,0 | 366,0 |
| ADP 411b | 90 | 31,4 | 30,4 | 954,56 | 1436,0 | 1436,0 | 532,5 | 532,5 |
| ADP 511a | 120 | 32,4 | 156,0 | 5054,40 | 874,5 | 874,5 | 255,7 | 255,7 |
| ADP 611a | 120 | 32,4 | 61,1 | 1979,64 | 4404,0 | 5950,0 | 2859,0 | 3897,0 |
| ADP 611b | 120 | 32,4 | 41,4 | 1341,36 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| ADP 711a | 90 | 31,4 | 43,8 | 1375,32 | 2472,0 | 3026,6 | 2055,0 | 2299,0 |
| ADP 711b | 60 | 40,9 | 30,6 | 1251,54 | 1165,5 | 1656,7 | 610,5 | 730,5 |
| Totaux | | | 652,3 | 23 360,82 | | 13743,8 | | 8644,9 |
| | | | | $R_{USA} :$ | | | | |
| | | | | 1161,17 | | | | |

Tableau N° 25 : Caractéristiques des pluies et de l'érosion sur le couple (5 m - 1 m)

Couple ADP 2-4 ($l_2 = 5 \text{ m}$; $l_4 = 1 \text{ m}$)

| Averses | I_p (mm/h) | E_c (J/mm/m ²) | P_u (mm) | EC (J/m ²) | E_{p2} (kg/ha) | E_2 (kg/ha) | E_{p4} (kg/ha) | E_4 (kg/ha) |
|----------|-----------------|---------------------------------|---------------|---------------------------|---------------------|------------------|---------------------|------------------|
| ADP 111b | 60 | 40,9 | 106,7 | 4364,03 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ADP 211c | 60 | 40,9 | 61,0 | 2494,90 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ADP 211D | 60 | 40,9 | 15,2 | 621,68 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ADP 311C | 60 | 40,9 | 35,8 | 1464,22 | 100,9 | 100,9 | 74,6 | 74,6 |
| ADP 311D | 60 | 31,4 | 21,1 | 862,99 | 63,6 | 63,6 | 30,8 | 30,8 |
| ADP 411C | 90 | 31,4 | 45,3 | 1422,42 | 136,2 | 136,2 | 257,3 | 257,3 |
| ADP 411D | 90 | 31,4 | 29,1 | 913,74 | 105,8 | 105,8 | 68,3 | 68,3 |
| ADP 511b | 120 | 32,4 | 152,5 | 4944,24 | 3036,0 | 4094,8 | 154,2 | 1374,0 |
| ADP 611C | 120 | 32,4 | 61,9 | 205,56 | 2334,0 | 3752,8 | 1521,0 | 4369,0 |
| ADP 611D | 120 | 32,4 | 41,4 | 1341,36 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ADP 711C | 90 | 31,4 | 44,1 | 1384,74 | 1653,0 | 2381,8 | 1012,5 | 1388,5 |
| ADP 711D | 60 | 40,9 | 32,6 | 1333,34 | 417,0 | 629,0 | 730,5 | 486,5 |
| Totaux | | | 646,8 | 23153,22 | | 11264,9 | | 8044,4 |
| | | | | RUSA : | | | | |
| | | | | 1151,35 | | | | |

Les tableaux N°s 24 et 25 présentent les principaux résultats ; il convient de préciser certains termes :

- I_p (mm/h) Intensité d'averse prévue, $I_p \sim I_m$
- E_c (j/mm/m²) Energie cinétique correspondant à I_p . (cf. calculsp.26)
- P_u (mm) Pluie cumulée depuis t_u (pluie utile)
- ΣE_c (J/m²) Energie cinétique cumulée sur P_u
- E_p (kg/ha) Erosion partielle obtenue par intégration dans le temps des débits solides
- E (kg/ha) Erosion totale = E_p + terres de canal
- R_{USA} Indice américain d'agressivité climatique
- $(R_{USA} = \frac{\Sigma (P_u \times E_c \times I_p)}{1735,6})$; ce coefficient (1735,6) tient compte des différentes unités anglosaxones. Cf. ROOSE 1975).

Notons que les indices d'agressivité climatiques sont très voisins pour les deux couples de parcelles et comparables à l'indice moyen annuel calculé par ROOSE (1975) sous pluie naturelle : 1260 (moyenne sur 27 ans). Les pertes par érosion peuvent donc être assimilées à celles correspondant à une année.

II.1.5.3. Détermination de l'effet longueur de pente

En un premier temps calculons (n-1), l'exposant de l, longueur de pente dans l'équation de WISCHMEIER et SMITH, à partir des résultats obtenus sur le premier couple de parcelles ($l_1 = 10$ m et $l_3 = 2$ m).

Nous avons la relation :

$$\frac{E_1}{E_3} = \frac{l_1^{n-1}}{l_3^{n-1}}, \text{ tous les autres facteurs de l'équation étant}$$

identiques pour les deux parcelles ADP 1 et ADP 3.

De cette relation, nous tirons :

$$n-1 = \frac{\log(E_1/E_3)}{\log(l_1/l_3)}$$

$$\text{soit } n-1 = 0,29.$$

Ainsi l'exposant de l, pour ce type de sol serait inférieur à 0,5 ; il convient de vérifier ce résultat pour l'autre couple et entre les deux couples.

Il apparaît que pour les deux parcelles ADP 2 et ADP 4, l'effet longueur de pente ne se manifeste pas de la même façon : les quantités érodées sur la parcelle d'1 m de long sont presque aussi importantes que pour 2 m. C'est pourquoi la valeur de n-1 calculée pour le couple 1 m et 5 m n'est que de 0,21. Il semble que l'érosion mesurée sur la parcelle ADP 4 (longueur 1 m) soit trop forte (effets de bordure trop importants?).

Si l'on écarte les résultats obtenus pour cette parcelle, nous devons vérifier que l'exposant n-1 a une valeur voisine pour les trois autres parcelles. Pour cela, nous le calculerons à partir des résultats obtenus sur les deux parcelles 1 et 2 (5 et 10 m de long). Il faut cette fois-ci tenir compte des différents indices d'agressivité climatique correspondant, ainsi :

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{l_1^{n-1}}{l_2^{n-1}}$$

$$\text{d'où : } n-1 = \frac{\log E_1 R_2}{\log E_2 R_1}$$

$$\text{soit } \underline{n-1 = 0,30}$$

De ces différents résultats, on peut déduire que :

- pour ce type de sol, très filtrant, l'influence de la longueur de pente est moins importante que pour la moyenne des sols ($n-1 = 0,3$ au lieu de $0,5$) sur les pertes en terre (mais l'on ne dispose que de trois longueurs)
- la longueur de 1 m ne semble pas convenir pour des expérimentations sérieuses sur l'érosion, du moins en ce qui concerne les quantités érodées. Cette dimension paraît toutefois suffisante pour les tests d'érodibilité (cf les essais à Katiola p. 54) et DE MEESTER, EMERSON et JUNGERIUS (1977). Par contre, sur ce type de sol, les résultats obtenus à partir de longueur de deux mètres semblent satisfaisants. Ceci s'explique peut-être par la formation du microréseau hydrographique : il commencerait à s'installer pour des longueurs supérieures à 1 mètre. Ces résultats confirmeraient les observations réalisées par ROOSE (1975) : sur les parcelles d'érosion sous pluies naturelles (longueur 10 m), les premières griffes d'érosion apparaissent pour des pentes voisines (4% et 7%) dans les tout premiers mètres en amont.
- il est tentant d'extrapoler ces résultats à des longueurs plus importantes (20, 30, 50 mètres etc...). Il nous fait cependant rester prudent, d'autres phénomènes interviennent peut être, notamment à l'échelle des versants. Il faudrait pour s'en assurer monter un nouveau type d'expérimentation. La surface arrosée par le simulateur étant limitée, la seule solution envisageable est l'allongement simulé de la parcelle. Le système consiste à recycler l'eau de ruissellement arrivant dans le canal évacuateur d'une des parcelles, en amont de la deuxième parcelle ; on double ainsi artificiellement la longueur de la pente. En divisant chaque parcelle longitudinalement et en répétant ce pompage, il serait possible d'atteindre une longueur totale de 40 mètres.

Il est aisé de réaliser les obstacles techniques qu'une telle expérimentation poserait : maintien de la même intensité de ruissellement en aval et en amont des parcelles, de la même turbidité des eaux etc... Mr. SWANSON a tourné la difficulté : il s'est contenté d'envoyer une lame d'eau claire en tête de parcelle à trois intensités différentes (ROOSE 1968). Ce procédé s'éloigne, à notre avis, beaucoup trop des conditions naturelles. En vue de rechercher l'influence de l'érosion au-delà de 10 m, il nous semble préférable de mener une enquête sur les effets de l'érosion au champ, au moins en un premier temps.

II.1.5.4. Détermination du facteur d'érodibilité K

Tous les autres facteurs étant connus par ailleurs, l'équation de WISCHMEIER permet de déterminer la susceptibilité des sols à l'érosion hydrique : le facteur d'érodibilité K.

Rappelons cette équation :

$$E = K \cdot RUSA \cdot S1 \cdot C \cdot P \cdot 2,24$$

- E : pertes en terres sur une année (tonnes/ha)
 K : facteur d'érodibilité
 R_{USA} : indice d'agressivité climatique
 S₁ : facteur topographique
 C : facteur concernant la couverture culturale et les techniques culturales (C = 1 pour un sol nu)
 P : facteur concernant les techniques antiérosives
 2,24 : coefficient de traduction d'unités (de ton/acre en tonne/ha).

Pour les parcelles ADP, il est nécessaire de calculer les différents facteurs topographiques S₁ :

WISCHMEIER et SMITH (1960) proposent la relation :

$$\text{facteur } S_1 = \frac{l^{n-1}}{100} (0,76 + 0,53S + 0,076S^2)$$

où l est la longueur de pente exprimée en pieds et S l'inclinaison (%) de la pente.

L'exposant (n-1) est, dans l'équation initiale, égale à 0,5. Les calculs précédents nous poussent à prendre, pour ce type de sol, la valeur n-1 = 0,3.

Pour une inclinaison de pente de 6%, on a :

| | |
|----------|------------------------|
| l = 10 m | S ₁ = 0,190 |
| l = 5 m | S ₁ = 0,155 |
| l = 2 m | S ₁ = 0,117 |
| l = 1 m | S ₁ = 0,095 |

Les autres facteurs sont connus :

R_{USA} = 1161,17 pour les parcelles de 10 m et 2 m

R_{USA} = 1151,35 pour les parcelles de 5 m et 1 m cf tableaux n°s 24 et 25

C = 1

P = 1 (aucun aménagement anti-érosif)

Vérifions que le facteur d'érodibilité K est identique pour les trois parcelles (10 m, 5 m, et 2 m) ayant donné des résultats cohérents. (Cette hypothèse a été utilisée lors du calcul de l'exposant n-1) :

$$K = \frac{E}{R_{USA} \cdot S_1 \cdot 2,24}$$

On a :

| | |
|---------------|----------|
| longueur 10 m | K = 0,03 |
| longueur 5 m | K = 0,03 |
| longueur 2 m | K = 0,03 |

Cette valeur de K est légèrement inférieure à celle obtenue par ROOSE (1975), à l'issue de 17 années de mesures sous pluies naturelles. Il propose pour ce sol sur sables tertiaires d'Adiopodoumé (qui appartient à l'unité de plateau à pente moyenne sur matériau sablo-argileux) des valeurs moyennes de K variant de 0,05 à 0,17. Mais il indique également qu'il existe des écarts importants suivant les saisons : pendant les périodes sèches, la valeur de K peut atteindre le niveau obtenu ici (0,02 à 0,03 du 1.1. au 31.4.67, pour les mêmes périodes : 0,04 en 1969, 0,03 en 1972...). Ce phénomène est très facile à expliquer : il faut des hauteurs d'eau beaucoup plus importantes en saison sèche qu'en saison des pluies pour déclencher le ruissellement. L'équation de WISCHMEIER et SMITH ne tient pas compte de l'humidité initiale du sol qui se trouve ainsi intégré au facteur K. Il apparaît par conséquent qu'il est malaisé d'utiliser une équation de prévision annuelle, pour des pluies simulées pendant une période limitée de l'année (ici au cours de la saison sèche).

Notons également que ROOSE (1973) considère que les parcelles d'érosion devraient être implantées sur des terres cultivées depuis plus de trois ans après défrichement, or la destruction de la végétation herbacée n'a précédé ici que de quelques semaines les premières pluies simulées. Cet effet de la matière organique peut aussi être une cause des différences enregistrées entre les parcelles d'érosion sous pluies naturelles sans apport organique depuis de nombreuses années et les parcelles récemment défrichées utilisées ici sous pluies simulées.

Si l'on compare la valeur obtenue de K à celui d'autres sols, on constate qu'il situe celui-ci parmi les plus résistants (l'échelle des sols américains s'étend de 0,03 à 0,60 - WISCHMEIER, JOHNSON et CROSS 1971). Les dégâts causés par l'érosion sur ce type de sol ne proviendrait pas de ses caractéristiques intrinsèques mais des autres facteurs : indice d'agressivité climatique, inclinaison de pente, couverture du sol etc...

La texture de ce sol, GODEFROY (1974) ainsi que sa faible stabilité structurale (DABIN 1960) ne semblent pas devoir être mises en relation avec la sensibilité de ce sol à l'érosion, qui est très faible. Un I_s élevé et une texture sableuse (pourvu quelle soit très grossière) ne sont pas des indicateurs de forte érodibilité.

II.1.6. Etude de l'hétérogénéité du couvert végétal :

Les deux couples de parcelles ADR 11 et ADR 12 (A-B et C-D) ont été mis en place pour des études d'hydrologie mais des travaux sur l'érosion y ont été également entrepris.

II.1.6.1. Couverture du sol : facteur C

En vue de tester l'hétérogénéité initiale des deux parcelles A et B, (cf figure N° 38) 5 pluies ont été simulées avant le labour. La couverture du sol était assurée par une prairie (végétation herbacée).

Nous supposons que l'érodibilité du sol de ces deux parcelles est identique à celle des parcelles ADP, les autres facteurs étant connus, on a :

$$C = \frac{E}{R_{USA} \cdot K \cdot S1. 2,24}$$

A partir des données du tableau N° 26, on peut calculer :

$$C_A = 0,001 \quad \text{et} \quad C_B = 0,002$$

Ainsi une prairie protégerait le sol de l'érosion autant qu'une forêt dense : ROOSE (1975) trouve, sous forêt, un $C = 0,001$. Les pertes en terres y seraient de 500 à 1000 fois moins importantes que pour un sol nu labouré.

Cependant le nombre restreint de pluies impose une certaine prudence quant à l'interprétation de ces résultats.

Les 7 pluies simulées après labour semblent cependant confirmer les valeurs très faibles de C sous prairie :

L'érosion est à peu près 2 fois plus faible sur la parcelle A labourée sur une moitié longitudinale, que sur la parcelle B entièrement défrichée (cf tableau N° 26).

Le même calcul a été effectué sur les parcelles C et D, les valeurs de C y sont encore plus faibles :

$$C_C = 0,0003 \quad C_D = 0$$

Tableau N° 26 : Caractéristiques des pluies et de l'érosion sur le couple A-B.

Couple ADR 12 (A et B)

• Couvert herbacé sur les deux parcelles

| Averses | I_p (mm/h) | E_C (J/mm/m ²) | P_u (mm) | ΣE_C (J/m ²) | E_{pA} (kg/ha) | E_A (kg/ha) | E_{pB} (kg/ha) | E_B (kg/ha) |
|----------|-----------------|---------------------------------|---------------|-------------------------------------|---------------------|------------------|---------------------|------------------|
| ADR 112 | 120 | 32,4 | 122,0 | 3952,8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ADR 212a | 120 | 32,4 | 68,8 | 2229,12 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ADR 212b | 120 | 32,4 | 51,5 | 1668,6 | 1,6 | 1,6 | 5,8 | 5,8 |
| ADR 312a | 150 | 33,4 | 131,9 | 4405,5 | 8,3 | 3,3 | 5,2 | 5,2 |
| ADR 312b | 150 | 33,4 | 72,9 | 2434,9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | 447,1 | 19170,8 | | 4,9 | | 11,0 |
| | | | | RUSA : 1133,97 | | | | |

• Labour sur B et sur la moitié longitudinale de A

| | | | | | | | | |
|----------|-----|------|-------|------------------|--------|---------|---------|---------|
| ADR 412 | 60 | 40,9 | 60,0 | 2454,0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ADR 512a | 60 | 40,9 | 107,9 | 4413,1 | 21,0 | 21,0 | 1,1 | 1,1 |
| ADR 512b | 60 | 44,9 | 47,8 | 1955,0 | 167,4 | 107,4 | 227,9 | 227,9 |
| ADR 612a | 120 | 32,4 | 80,7 | 2614,7 | 2665,0 | 2893,8 | 5067,0 | 6511,6 |
| ADR 612b | 120 | 32,4 | 81,0 | 2624,4 | 2823,0 | 3084,0 | 5328,0 | 6967,8 |
| ADR 712 | 150 | 33,4 | 153,0 | 5110,2 | 5144,0 | 5144,0 | 10472,0 | 12271,6 |
| ADR 812 | 90 | 31,4 | 109,0 | 3422,6 | 3705,0 | 3875,0 | 5586,0 | 6748,6 |
| | | | 639,4 | 22593,9 | | 15185,2 | | 32728,6 |
| | | | | RUSA: 1286,34 | | | | |

II.1.6.2. Distribution de la végétation le long de la pente
(cf. fig. N°38)

Les résultats obtenus après labour apportent quelques données sur l'effet de la répartition du couvert végétal le long de la pente.

Le tableau n° 27 présente les résultats.

Les pertes insignifiantes mesurées en aval de la parcelle D confirme l'intérêt de la technique antiérosive des bandes d'arrêt. Elle correspondent en effet à l'érosion prévue par l'équation universelle pour une parcelle enherbée de 5 m de long et de pente 6% (nous prenons $c = 0,0003$, valeur trouvée pour C) :

$$E = 0,03 \times 1146,30 \times 0,155 \times 0,0003 \times 2,24 = 3,6 \text{ kg/ha}$$

Il apparaît que les sédiments de la partie amont de D sont tous retenus par la partie aval enherbée (soit plus de 8 tonnes/ha, cf. parcelle C), qui jouerait le rôle d'un filtre.

Tableau N° 27 : Caractéristiques des pluies et de l'érosion sur le couple C-D.

Couple ADR 11 (C et D) (cf. fig. N° 38)

• Couvert herbacé sur les deux parcelles

| Averses | I_p (mm/h) | E_c (J/mm/m ²) | P_u (mm) | ΣE_c (J/m ²) | E_{pC} (kg/ha) | E_c (kg/ha) | E_{pD} (kg/ha) | E_p (kg/ha) |
|----------|-----------------|---------------------------------|---------------|-------------------------------------|---------------------|------------------|---------------------|------------------|
| ADR 111 | 120 | 32,4 | 119,1 | 3858,8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ADR 211a | 120 | 32,4 | 70,8 | 2293,9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ADR 211b | 120 | 32,4 | 51,5 | 1668,6 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ADR 311a | 150 | 33,4 | 107,9 | 3603,9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ADR 311b | 150 | 33,4 | 53,8 | 1796,9 | 3,5 | 3,5 | 0 | 0 |
| | | | 403,1 | 13187,7 | | 3,5 | | 0,0 |
| | | | | RUSA : 1007,53 | | | | |

• Labour partiel des deux parcelles

| | | | | | | | | |
|----------|-----|------|-------|-------------------|--------|--------|-----|-----|
| ADR 411 | 60 | 40,9 | 71,2 | 2912,1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ADR 511a | 60 | 40,9 | 46,6 | 1905,9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ADR 511b | 60 | 40,9 | 47,1 | 1926,4 | 58,4 | 58,4 | 0 | 0 |
| ADR 611a | 120 | 32,4 | 83,7 | 2711,9 | 975,0 | 975,0 | 0 | 0 |
| ADR 611b | 120 | 32,4 | 62,2 | 2015,2 | 1614,0 | 2492,8 | 0,3 | 0,3 |
| ADR 711 | 150 | 33,4 | 150,6 | 5830,0 | 1717,0 | 2207,6 | 0,7 | 0,7 |
| ADR 811 | 90 | 31,4 | 93,1 | 2923,3 | 2032,0 | 2640,4 | 2,4 | 2,4 |
| | | | 553,5 | 16512,7 | | 8374,2 | | 3,4 |
| | | | | RUSA : 1146,30 | | | | |

II.1.7. Etude sommaire du ruissellement :

Les remarques précédentes nous conduisent à réaliser une étude très sommaire des différents coefficients de ruissellement mesurés sur les diverses parcelles.

L'analyse détaillée des phénomènes d'infiltration et de ruissellement est effectuée par LAFFORGUE ; 1977.

Nous ne présentons que les coefficients de ruissellement K_r . $K_r = \Sigma LR/Pu$, soit le rapport de la lame ruisselée à la hauteur de pluie utile. (les calculs ne portent que sur les pluies ayant donné lieu à un ruissellement ; cf. tableaux en annexe).

II.1.7.1. Effet longueur de pente

Sur les parcelles ADP, on obtient :

| | |
|---------------|----------------|
| longueur 10 m | $K_r = 19,9\%$ |
| longueur 5 m | $K_r = 22,8\%$ |
| longueur 2 m | $K_r = 29,2\%$ |
| longueur 1 m | $K_r = 27,1\%$ |

Comme pour l'érosion, la parcelle la plus petite ne semble pas avoir un comportement cohérent avec les autres.

Contrairement aux résultats portant sur les pertes en terres, le ruissellement paraît diminuer avec la longueur de pente. La turbidité serait donc d'autant plus élevée que la pente s'allonge ; c'est effectivement ce que l'on observe (cf. tableau en annexe) : sont données comme exemple des turbidités C_x (correspondant au régime permanent de ruissellement) pour les dernières pluies (12°) sur les parcelles ADP :

| | |
|---------------|---------------------------|
| longueur 10 m | $C_x = 27,04 \text{ g/l}$ |
| longueur 5 m | $C_x = 11,79 \text{ g/l}$ |
| longueur 2 m | $C_x = 10,36 \text{ g/l}$ |
| longueur 1 m | $C_x = 4,85 \text{ g/l}$ |

LAFFORGUE (communication orale) distingue deux causes possibles à la diminution du ruissellement avec l'allongement de la parcelle :

- plus la longueur est importante, plus l'hydrogramme est étalé dans le temps, ce qui augmente la durée et donc l'importance de l'infiltration,
- la hauteur de la détention superficielle moyenne est supérieure sur les parcelles les plus longues, ce qui peut augmenter la surface offerte à l'infiltration.

II.1.7.2. Effet de l'hétérogénéité de surface

a) parcelles A-B :

1) Avant labour : $Kr_A = 2,0\%$ $Kr_B = 1,2\%$

L'hétérogénéité au niveau de l'érosion se retrouve pour le ruissellement (cf calculs de C). Le coefficient de ruissellement est extrêmement faible sous végétation herbacée y compris sous de très fortes intensités (150 mm/h).

2) Après labour : $Kr_A = 20,8\%$ $Kr_B = 40,0\%$

La différence entre les deux parcelles se maintient après labour, mais les ordres de grandeur ne sont plus les mêmes. La suppression du couvert favorise beaucoup le ruissellement et le labour ne semble pas augmenter l'infiltration. On retrouve ici un résultat obtenu sur les sols beaucoup plus argileux de Kobo (cf fig. N°s 27, 28 et 32 et pages 50-53). Cette importante modification du régime d'infiltration peut s'expliquer par un modèle mathématique simulant le passage d'un milieu hétérogène (couvert végétal) à un milieu homogène (sol labouré et plané) (LAFFORGUE 1977). Le pédologue y verra le passage d'une porosité tubulaire conductrice (très fortement favorisée par les racines et les chenaux biologiques) à une porosité vésiculaire non conductrice provoquée par le labour. (Cette technique apporte une discontinuité dans les voies d'écoulement préférentiel). De plus il se forme dans la première demi-heure de pluie (cf. p 53) une pellicule de battance qui obstrue les pores. Ceci explique que le ruissellement puisse augmenter malgré une nette diminution de la densité et de la cohésion cf p. 55).

b) Parcelles C-D :

1) Avant labour : $Kr_C = 0,005\%$ $Kr_D = 0\%$

Ces valeurs expliquent les quantités très faibles mesurées sur les pertes en terre. L'infiltration, pour ces parcelles, est presque totale.

2) Après labour : $Kr_C = 19,0\%$ $Kr_D = 7,4\%$

Il semble que ces résultats confirment les hypothèses formulées lors de l'étude de l'érosion sur ces parcelles : si la couverture herbacée arrête presque totalement les sédiments provenant de l'amont, elle ne stoppe pas toute l'eau ruisselée : une partie, débarrassée de sa charge solide, continue à participer à l'érosion en nappe à l'aval.

Ainsi les bandes d'arrêt ne suffisent pas à résorber totalement le ruissellement déclenché en amont par la mise en culture, mais stoppe néanmoins l'érosion. Les dépôts successifs des sédiments sur ces bandes d'arrêts modifient en quelques années le profil de pente, favorisant ainsi la formation naturelle de banquettes antiérosives (ROOSE et BERTRAND 1971).

II.1.8. Conclusions :

II.1.8.1. Concernant la méthodologie d'étude de l'érosion

Les principaux travaux sur l'érosion ont jusqu'à ces dernières années utilisé une méthode empirique reposant sur la corrélation entre les pertes en terres et différents facteurs. Elle vise essentiellement à prévoir, pour des besoins agricoles, les risques annuels d'érosion. Il semble que l'équation de WISCHMEIER et SMITH (1960) soit bien adaptée à ce type d'étude et permet notamment d'analyser l'importance relative de chaque facteur. Elle nécessite cependant le dépouillement d'un nombre très élevé de données acquises au cours d'une très longue durée de l'ordre de la décennie (détermination pour chaque pluie du RUSA, des turbidités, des terres de canal etc...).

Cette méthode est inefficace, par contre, pour prévoir l'érosion, pluie par pluie. Le principal obstacle jusqu'ici rencontré était l'extrême variabilité des pluies naturelles quant à l'intensité et à l'énergie cinétique développée. Or, la simulation de pluies permet de fixer ces facteurs et de déterminer de nouveaux paramètres non pris en compte jusqu'ici (humidité préalable de la parcelle etc...). Toutes les caractéristiques des pluies simulées étant bien définies, dont leur énergie cinétique, la voie est désormais ouverte pour une étude plus fine des phénomènes. Ce travail passe par l'analyse minutieuse des mécanismes du ruissellement (LAFFORGUE 1977) et une recherche parallèle sur la turbidité. Bien que les dépouillements des résultats obtenus sous pluies simulées soient également très longs (un programme de traitement informatique a été récemment mis au point : VUILLAUME ; 1977), il semble possible de tirer davantage d'informations, pour une durée de travail plus restreinte. Il serait regrettable de se borner à l'application de l'équation de WISCHMEIER et SMITH (1960), alors que les techniques ont évolué et offrent de nouvelles possibilités. On notera toutefois l'intérêt de comparer les deux méthodes, en confrontant les données obtenues après un certain nombre de pluies simulées ($RUSA \sim RUSA$ annuel) et celles provenant de l'équation de prévision. Ainsi une approche plus fondamentale des processus d'érosion est désormais possible grâce à l'utilisation du simulateur de pluies et d'une analyse approfondie des phénomènes regroupant en une même équipe hydrologues et pédologues.

Subsiste cependant le problème de l'échelle. Nous avons tenté de l'éclaircir par l'étude de l'effet longueur de pente, mais il existe encore un domaine à étudier entre les parcelles (quelques centaines de m^2) et les bassins versants des hydrologues (de l'ordre du km^2). Une expérimentation est actuellement en train de se mettre en place, en forêt tropicale (Taï,) (COLLINET et CASENAVE) en vue de relier ces différentes échelles.

- parcelles : 50 et 250 m^2
- bassins versants : 5 ha, 1 km^2 , 10 km^2

Une approche nouvelle de l'érosion agricole semble intéressante. Il s'agit de la technique des enquêtes, pratiquée à la Station de l'INRA à Colmar. Il paraît possible de coupler judicieusement les travaux expérimentaux et les observations minutieuses de terrain. Ainsi les études sous pluies naturelles ont apporté des résultats intéressants mais de nouvelles méthodologies sont en cours d'élaboration.

II.1.8.2. Concernant l'utilisation agricole des résultats

Les avantages de la technique des bandes d'arrêts sont bien connus (ROOSE et BERTRAND ; 1971). Cette étude a permis d'en vérifier expérimentalement l'efficacité contre l'érosion, son action semble plus limitée vis à vis du ruissellement.

Par contre l'influence de la longueur de pente n'avait pas été déterminée en Basse Côte d'Ivoire (ni dans le reste du pays). Elle est plus faible que pour la plupart des sols. Doubler la longueur de pente accroît les risques de 23% d'érosion, contre 32% en moyenne aux Etats-Unis. Cet effet est le même (augmentation de l'érosion de 23%) que pour le passage d'une pente de 6% à 7%. Toutefois ces résultats devraient être confrontés aux observations des exploitants agricoles.

II.2. Etudes expérimentales et recherches d'amélioration des techniques culturales de l'ananas.

II.2.1. Présentation de l'étude :

La Côte d'Ivoire est devenue le premier pays exportateur d'ananas frais et l'un des premiers pour l'ananas de conserverie.

Or cette culture consomme beaucoup d'engrais, de produits phytosanitaires et de carburants pour l'utilisation d'un matériel agricole important. Depuis 1973, l'augmentation du coût des matières premières a entraîné une réduction des marges bénéficiaires partout où il existe des plantations de type industriel (Hawaï, Malaisie, Mexique, Côte d'Ivoire etc...).

Ainsi une économie plus stricte des éléments fertilisants et des temps de travaux est-elle de plus en plus recherchée. Concernant la fertilisation, l'attention a été attirée sur la valeur nutritive des éléments issus des résidus de culture, considérable dans le cas de l'ananas, ainsi que sur les pertes par lixiviation.

De nombreux contacts avaient été pris entre l'ORSTOM et la SALCI (Société des Ananas de la Côte d'Ivoire) dès l'implantation de cette très grande exploitation située à Ono, à l'Est d'Abidjan (AUBERT, DABIN, ROOSE, de BOISSEZON, BONZON, TALINEAU...). La superficie cultivée dépasse 800 ha (et atteindra bientôt 1500 ha) d'un seul tenant. Dès le début, des problèmes importants d'érosion sont apparus. Malgré l'adoption de la culture en courbes de niveau et en billons, des ravines profondes se forment encore fréquemment lors des saisons des pluies sur ces pentes fortes (de 3% à 26% !). Elles provoquent des pertes en plants mais aussi des dégâts pour le matériel agricole et des retards dans les temps de travaux. Or l'usine de conditionnement qu'elle approvisionne en partie (la 3e au monde pour sa production) impose des contraintes précises. (date de récolte etc...).

Cette longue collaboration a débouché en 1975 sur la signature d'une convention liant cette société (SALCI) ainsi qu'une très importante coopérative (1300 adhérents ; SOCABO : Société de Coopérative Agricole de Bonoua) à deux organismes de recherches : l'ORSTOM et l'IRFA (Institut de Recherches sur les Fruits et Agrumes). Le programme se fixe pour objectif l'étude de trois modes d'utilisation des résidus de culture en fonction de l'érosion, de la lixiviation et de l'évolution de la matière organique.

II.2.1.1. Les traitements étudiés.

Les auteurs du protocole expérimental (ROOSE et LACOEUILHE, 1975) ont retenu trois techniques culturales concernant l'utilisation des résidus de récolte. Elles correspondent principalement à la volonté de simplifier les travaux culturaux :

- L'enfouissement des résidus : C'est la technique utilisée sur les grandes plantations dotées du matériel suffisant pour enfouir l'énorme masse des résidus après récolte (25 tonnes de matières sèches/ha). La succession des interventions est cependant allégée par rapport aux travaux classiques puisque le labour est supprimé :

- rotobroyage des vieux plants après récolte des fruits et des rejets
- enfouissement des résidus sur 15-20 cm au rotavator, 3 semaines après le rotobroyage
- billonnage et plantation (2 rangs d'ananas par billon), un mois après l'enfouissement.

La durée de l'intercycle (de la récolte à la plantation) est considérable : environ 6 mois pour la production de rejets puis 1,5 à 3 mois pour la préparation du sol.

- le brûlis : de très nombreux petits planteurs (encadrés par la SODEFEL : Société de Développement des Fruits et Légumes) ne disposent pas du matériel suffisant pour enfouir les résidus. Ils sont amenés, pour la plupart, à les brûler. Les techniques culturales sont, pour le reste, semblables à celles du traitement précédent. Une telle étude cherche à mettre en évidence l'influence du brûlis sur la minéralisation et sur les pertes par voies gazeuses (N sous forme de fumées) et en solution (érosion chimique et lixiviation).

- le mulch : il s'agit essentiellement de limiter toutes les interventions au seul rotobroyage : les résidus sont laissés sur place et le sol n'est pas travaillé. Cette technique semble avoir donné des résultats intéressants au Nigéria (LAL ; 1975) pour certaines cultures (maïs, patate douce...). Cette technique, également à l'essai sur quelques parcelles de la SALCI est testée principalement pour étudier son action sur la conservation des sols. Elle permet le gain de 3 semaines par cycle et assure l'économie de travaux coûteux ; l'attention doit être cependant attirée sur le maintien d'un rendement élevé et de conditions phytosanitaires acceptables.

II.2.1.2. Etat d'avancement des travaux

En vertu du protocole général d'accord, "l'ORSTOM fournit les dispositifs et assure leur exploitation. L'IRFA assure le suivi de la culture et les analyses d'eau de ruissellement et de drainage".

Les travaux ont été menés, pour l'ORSTOM, par M. ROOSE de mars 1975 à décembre 1976, et par MM. MOREAU et VALENTIN depuis. Deux cycles culturaux ont été jusqu'ici étudiés sur parcelles expérimentales à Adiopodoumé. Le troisième et dernier cycle est en cours et doit s'achever début 1979.

Le dépouillement des premiers résultats a donné lieu à la parution de courts rapports (ROOSE et LACOEUILHE 1976 ; ROOSE, MOREAU et VALENTIN 1976 ; VALENTIN 1977 et 1978).

Au terme des deux premiers cycles, il semble possible de dégager certains résultats, concernant la comparaison des trois traitements.

II.2.2. Conditions climatiques :

Les conditions climatiques ont été particulièrement sèches au cours des quinze mois constituant le deuxième cycle de culture. Pour l'ensemble de la période, il n'est tombé que 1341,7 mm contre 2651,2 mm en moyenne (calculée sur 28 ans) et contre 3337,1 mm au cycle précédent. Le déficit pluviométrique s'élève à 1309,5 mm (environ 50%) par rapport à la moyenne.

En 1976, la petite saison des pluies n'a pas été marquée :

| | |
|--|-------------------|
| pluviométrie octobre-novembre : 1976 : | 67,7 mm |
| | 1975 : 308,0 mm |
| | moyenne: 319,6 mm |

or cette période correspondait au début du second cycle (cf. fig.N°56).

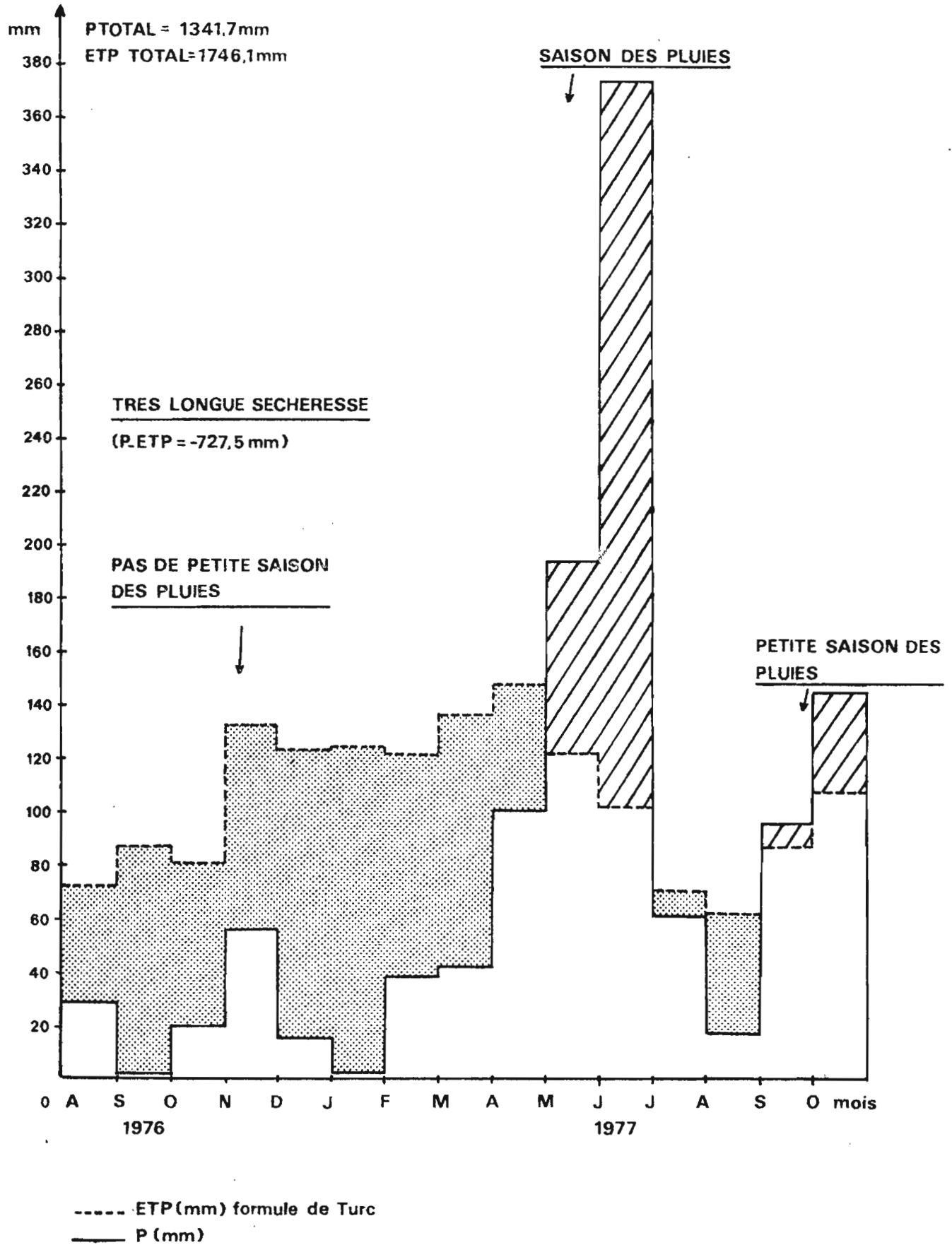
La grande saison des pluies de 1977, succédant à cette très longue période de sécheresse, a elle-même été très peu pluvieuse :

Pluviométrie de mai-juin-juillet :

| | | |
|---------|-------------|-----------------------------|
| 1977 | : 670,3 mm | (deuxième cycle) |
| 1976 | : 1825,8 mm | (premier cycle) |
| moyenne | : 1260,1 mm | (sur 28 ans, à Adiopodoumé) |

Il est couramment admis toutefois que l'ananas est une plante peu exigeante en eau (PY et TISSEAU ; 1965). En effet, son métabolisme est de type crassulacéen : les stomates sont ouverts la nuit, fermés le jour. Il y a dissociation entre photosynthèse et transpiration, ainsi son efficacité hydrique (quantité de matière sèche formée par masse d'eau utilisée) est nettement supérieure à la plupart des plantes cultivées. De plus il existe une possibilité de stockage de l'eau dans les tissus aquifères des feuilles.

**FIGURE 56 : PLUVIOMETRIE ET EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE
 POUR LA DUREE DU DEUXIEME CYCLE DE CULTURE :
 Août 76 - Novembre 77**



Cependant, il semble que la résistance de l'ananas à la sécheresse ait été légèrement surestimée. En effet, ce métabolisme particulier ne serait pas strict (les stomates resteraient partiellement ouverts dans la journée) (COMBRES 1978).

Ces quelques remarques seront utilisées par la suite pour expliquer, du moins en partie, la baisse importante de rendement enregistrée lors du second cycle. (cf. p.126).

La très grande variabilité de la pluviométrie d'une année sur l'autre confirme l'intérêt de mener les expérimentations de type agronomiques sur plusieurs cycles. Elles permettent d'étudier, au moins pour ces trois premières années, des cas particulièrement distincts.

II.2.3. Infiltration, ruissellement et érosion :

II.2.3.1. Les parcelles expérimentales

Un dispositif expérimental d'étude de l'érosion a été mis en place en 1956 (DABIN et LENEUF). Il a servi depuis à de nombreux travaux sur les pertes en terre et le ruissellement en fonction de la pente, des techniques culturales et du type de plante cultivée (DABIN, LENEUF, PERRAUD). M. ROOSE a porté le nombre de parcelles de 7 à 12, leur donnant une dimension qui permette l'utilisation du simulateur de pluies. Elles ont 10 mètres de long dans le sens de la pente et 5 m de large, et sont regroupées selon trois pentes : 4%, 7% et 20%.

En aval les eaux de ruissellement et les terres érodées sont collectées par un canal couvert, vers un piège à sédiments et deux cuves réceptrices dont l'une est munie d'un partiteur. Après chaque pluie (ou chaque semaine en saison sèche), on mesure le volume ruisselé et les quantités de terres entraînées (pesées des terres de fond et prélèvement d'échantillon de turbidité).

Pour chaque pente, on étudie les dynamiques des trois traitements et d'un témoin en sol nu, soit en tout 12 parcelles.

Les ananas sont plantés à plat et non en billons comme c'est le cas pour les plantations (SALCI, SOCABO). Il sera par conséquent difficile d'extrapoler les résultats d'une manière absolue. Ils pourront être utilisés toutefois à titre comparatif.

II.2.3.2. Evolution du couvert végétal

Nous avons vu précédemment l'influence du couvert végétal sur la protection du sol. (cf facteur C, p). En vue de faciliter l'interprétation des résultats, il a été prévu, dans le protocole initial, de suivre l'évolution de la couverture du sol au cours du cycle. Pour cela, on utilise la méthode des points quadrats (on compte les contacts avec des tiges verticales distantes de 5 cm et réparties sur une longueur de 1 m, on répète l'opération de façon à déterminer la nature du couvert de 500 points par parcelle).

On distingue 4 types de couverts :
(ananas, rejets, adventices et résidus)
ces comptages étant répétés au cours du cycle, il est possible de
déterminer l'importance relative de chaque couvert et son évolution
au cours du temps.

Le tableau N° 28 présente les résultats du deuxième cycle.

Tableau N° 28 : Evolution de la couverture du sol au
cours des premiers mois de culture.

| Nombre de mois après plantation | Ananas | | | Adventices | | | Rejets | | | Résidus | | | Couverture du sol (%) | | |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|----------------------------|--------|--------|
| | B % | E % | M % | B % | E % | M % | B % | E % | M % | B % | E % | M % | B % | E % | M % |
| 1 | 46,5 | 44,4 | | 0,05 | 0,00 | | 0,00 | 0,50 | | 4,6 | 6,1 | | 51,15 | 51,0 | |
| 2 | | | 50,1 | | | 0,00 | | | 3,75 | | | 46,0 | | | 99,85 |
| 3 | 55,9 | 55,9 | | 0,05 | 0,15 | | 0,10 | 2,0 | | 0,4 | 2,8 | | 56,45 | 60,85 | |
| 4 | | | 57,8 | | | 0,00 | | | 1,60 | | | 39,4 | | | 98,80 |
| 6 | 67,5 | 66,6 | | 0,05 | 0,20 | | 0,25 | 3,20 | | 0,3 | 2,4 | | 68,05 | 72,4 | |
| 7 | | | 65,1 | | | 0,10 | | | 1,65 | | | 32,5 | | | 99,35 |
| 8 | 83,2 | 77,9 | | 0,15 | 0,25 | | 0,15 | 2,62 | | 0,25 | 0,05 | | 83,09 | 80,82 | |
| 9 | | | 74,5 | | | 0,10 | | | 1,15 | | | 24,1 | | | 99,85 |

Ce tableau appelle certaines remarques :

a) enherbement

Aucune différence significative n'apparaît entre les trois
traitements. L'enherbement reste très limité.

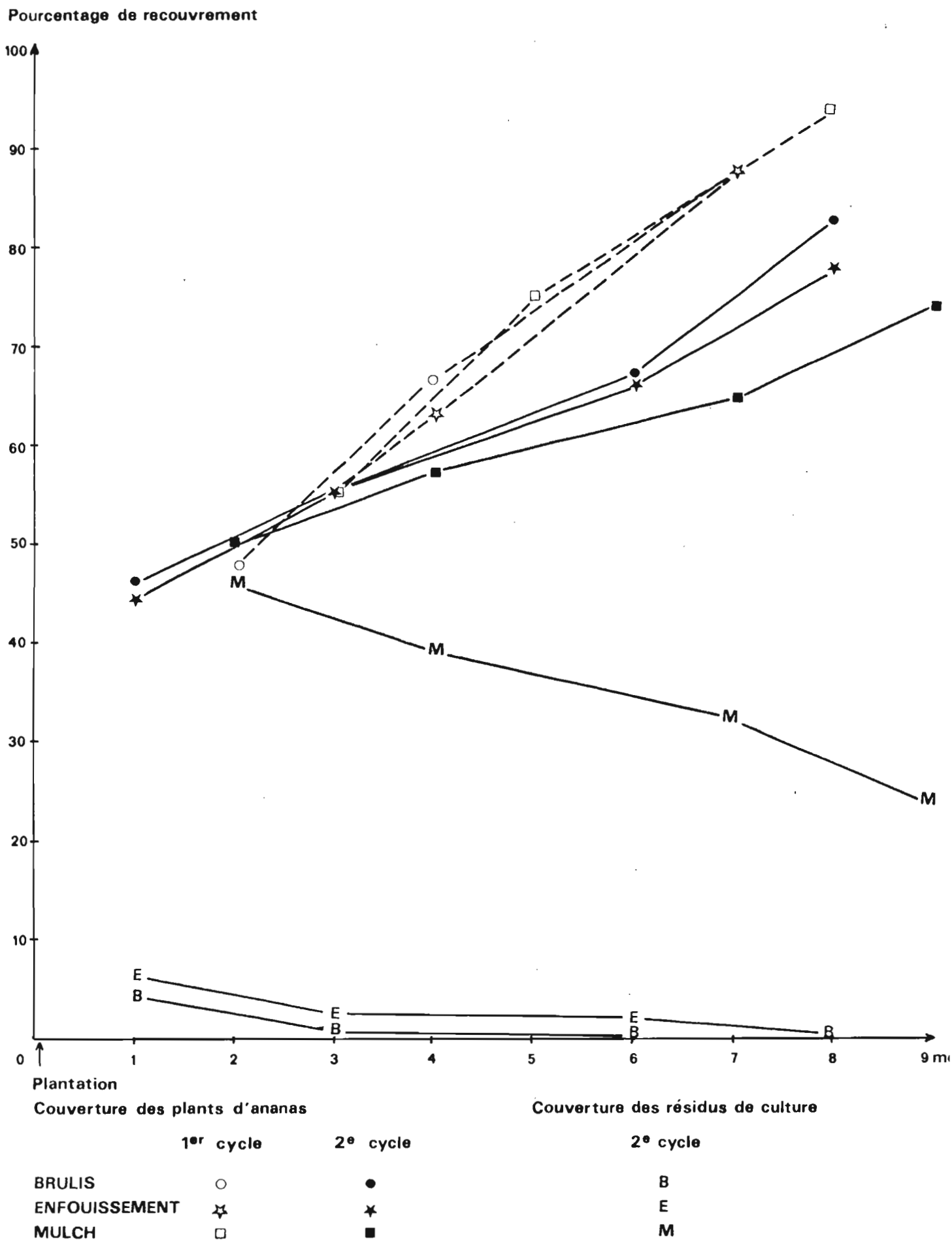
b) les résidus

Pour le brûlis et l'enfouissement, la protection du sol
est mal assurée par les résidus (cf. fig. 57). Le couvert "mulch"
se maintient longtemps (près de 25% de la surface du sol 9 mois
après le début des essais).

c) croissance des rejets

La croissance des rejets est stoppée par celle des plants.
Notons que le brûlis supprime presque totalement la possibilité
d'obtenir des rejets.

FIGURE 57 : EVOLUTION DE LA COUVERTURE DU SOL AU COURS DES PREMIERS MOIS DE CULTURE



d) croissance des plans

Les cayeux (jeunes plants) couvrent à la plantation 30% de la surface (pour une densité de 56.000 pieds/ha). On observe une augmentation mensuelle de :

- 10% les cinq premiers mois
- 5% du 5^e au 9^e mois.

Ces comptages, bien que fastidieux, permettent une comparaison des deux cycles : la sécheresse du deuxième cycle a influé sur la croissance des plants (cf. fig. N° 57).

e) couverture globale

Le sol est totalement couvert dès la plantation pour le mulch alors qu'il faut attendre le 8^e mois pour les autres traitements, pour atteindre cette protection complète du sol. On devine les conséquences de ces différences sur les risques d'érosion (cf. pp. 40-43).

II.2.3.3. Infiltration et ruissellement

La figure N° 58 présente les coefficients d'infiltration K_F (K_F = lame d'eau infiltrée (mm)/Hauteur de la pluie (mm)

$K_F = 100 - K_r$; K_r étant le coefficient de ruissellement).

On distinguera l'effet pente, de l'effet traitement :

a) effet pente

Pour le sol nu, l'infiltration augmente paradoxalement avec la pente. Pour expliquer ce phénomène, il semble qu'il faille tenir compte de la nature du sol : pour AVENARD et ROOSE (1972) la porosité superficielle serait obstruée, sur faible pente, par les sables fins. Les eaux de ruissellement auraient une énergie suffisante sur des pentes plus accusées pour provoquer un décapage de ces éléments et favoriser ainsi l'infiltration.

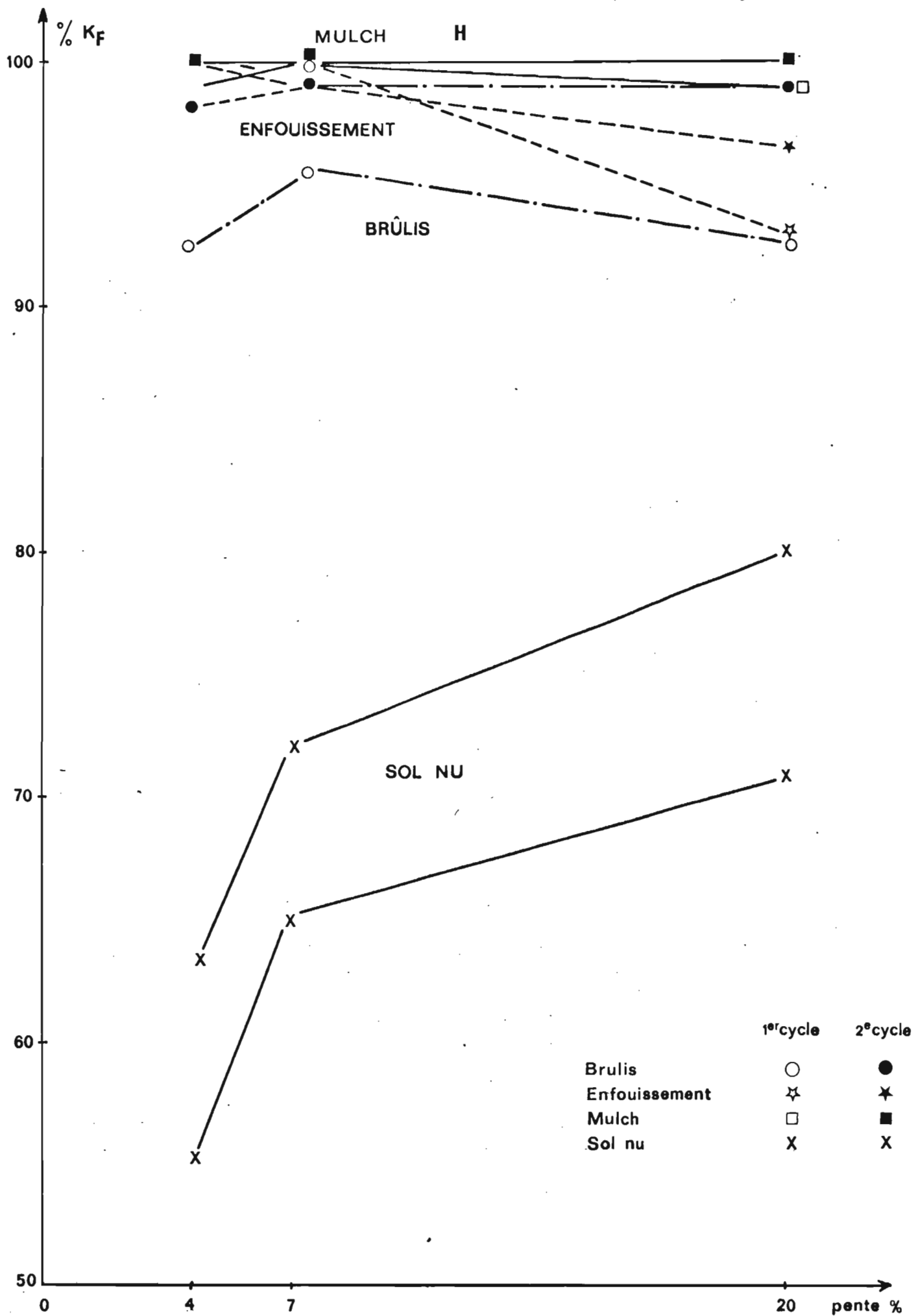
Cette hypothèse est séduisante mais demanderait vérification. Il paraît surprenant qu'une eau particulièrement chargée (cf. les turbidités) en éléments fins ne favorise pas l'obstruction des pores superficiels.

A notre avis, l'explication est bien d'ordre pédologique, mais ce serait surtout la structure qui interviendrait. La texture des horizons superficiels varie en fonction de la pente (cf "approches descriptives" pp. 72-74). Nous ne possédons aucune donnée analytique sur la texture actuelle de ces horizons mais il est très probable que le taux d'argile croît avec la pente (cf. données p. 74, à titre indicatif). En 1960, on avait, pour les horizons 0-10 cm des cases de l'époque : (PERRAUD 1960)

| | | |
|---------------------|------------|--------------|
| | pente 7-8% | pente 12-15% |
| Taux d'argile (%) | 11,6 | 17,0 |

Sur les parcelles actuelles de pente $p = 20\%$, l'horizon superficiel actuel est en fait le structichron dyscrophe ; l'appumite et une partie de cet horizon ayant été décapés lors de la mise en place de ces parcelles. Pour cet horizon, le taux d'argile dépasse vraisemblablement 30% (structichron dyscrophe de sol formé sur matériau argilo-sableux sur forte pente ; cf carte de de la SOUCHERE (1957) et tableau N° 22).

Fig N°58 INFILTRATION: EFFETS DE LA PENTE ET DE LA COUVERTURE DU SOL



Ces variations texturales induiraient des différences de structure : la structure superficielle des parcelles en forte pente (20%) est beaucoup plus motteuse que pour les parcelles de 4% et 7%, où du fait du taux plus élevé de sables grossiers, l'indice d'instabilité structurale y serait plus élevé (cf. p.112). De fait, on n'observe pas de mottes sur ces parcelles, mais une surface plane.

Or, les mottes suffisamment résistantes, tout comme les gravillons ou cailloux (DUMAS 1965) peuvent ralentir considérablement le ruissellement et favoriser ainsi l'infiltration (cf. HENIN, GRAS et MONNIER 1969). Une expérimentation devrait être entreprise, avec l'aide du simulateur de pluie pour confirmer cette hypothèse.

b) effet traitement

La structure de l'ananas favorise l'infiltration : ses feuilles collectent la moindre précipitation vers la tige et les racines (on parle de feuilles "gouttières" et de structure en parapluie renversé).

Lorsque l'ananas recouvre complètement la surface (après le neuvième mois) l'infiltration est pratiquement totale. Sur l'ensemble du cycle, quelque soit le traitement ou la pente, le coefficient d'infiltration (K_F) dépasse 90%.

Le rôle bien connu du mulch sur l'infiltration apparaît ici clairement :

| | | |
|---------|-------------------|-------------------|
| $K_F\%$ | 1° cycle : 99,40% | 2° cycle : 99,97% |
|---------|-------------------|-------------------|

Nous verrons par la suite que cette action sur le ruissellement est très efficace vis à vis de l'érosion, mais en contre partie favorise l'entraînement des éléments minéraux en profondeur (lixiviation).

II.2.3.4. Turbidité

a) effet traitement

Pour les trois types d'utilisation des résidus de récolte, la turbidité moyenne des eaux ruisselées lors du second cycle (turbidité = $E/\text{volume ruisselé}$) est très inférieure à celles du premier. Nous expliquerons par la suite cette différence importante par la position de la date de plantation par rapport à la saison des pluies. Pour le sol nu au contraire, cette turbidité augmente, à cause de la diminution du ruissellement (K_r reste du même ordre mais la pluviométrie est bien plus faible). (cf. tableau N° 30).

Au cours des deux cycles, c'est pour l'enfouissement des résidus, que l'on enregistre la turbidité la plus forte sous culture (elle dépasse même celle du sol nu au premier cycle). En effet, alors que les pertes en terres y sont presque aussi fortes que pour le brûlis, le ruissellement y est plus faible (nous verrons par la suite que la stabilité structurale est pourtant plus élevée pour l'enfouissement cf. p.117).

Tableau N° 29 : Turbidités (g/l) par traitement

| | Sol nu | Brûlis | Enfouissement | Mulch |
|------------|--------|--------|---------------|-------|
| 1er cycle | 16,31 | 11,62 | 17,56 | 1,78 |
| 2ème cycle | 25,73 | 0,35 | 4,16 | 0,68 |

Tableau N° 30 : Turbidités (g/l) sur les différentes pentes dénudées.

| | 5 % | 7 % | 20 % |
|------------|------|-------|-------|
| 1er cycle | 3,02 | 11,74 | 51,97 |
| 2ème cycle | 5,67 | 44,76 | 73,48 |

b) effet pente

Quelle que soit la pluviométrie, la turbidité augmente avec la pente. Mais, pour l'interprétation, il est très difficile de dissocier le facteur pente du facteur sol. En effet, la texture variant d'une pente à l'autre, il est très probable que l'érodibilité des sols ne soit pas la même (cf le nomographe de WISCHMEIER, JOHNSON et CROSS ; 1971 évaluant l'érodibilité des sols, en fonction de la texture et du taux de matières organiques).

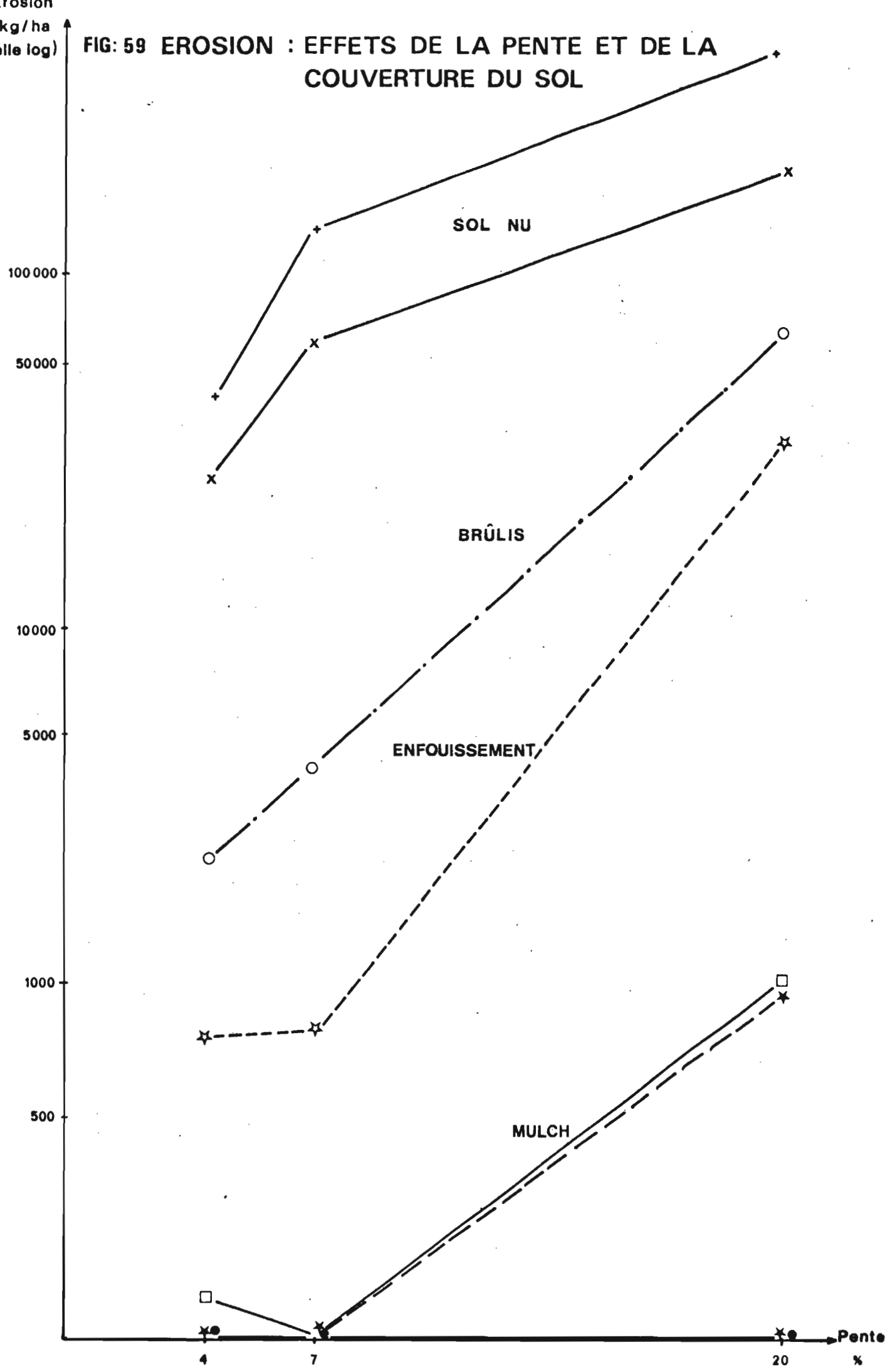
II.2.3.5. Erosiona) les pertes en terres

La figure N° 59 regroupe les résultats de pertes en terre en fonction des traitements et de la pente (cf. tableaux en annexes).

On notera tout d'abord l'effet protecteur de la culture (l'échelle de la figure N° 59 est logarithmique). Les pertes par érosion, sur la parcelle nue de pente $p = 20\%$, représente, pour le premier cycle, une ablation de 2,9 cm ! (densité apparente : 1,4). On réalise le danger de laisser nus pendant longtemps des sols situés sur de forte pente : en quelques années l'appumite, c'est à dire l'horizon le plus fertile, peut être complètement emporté.

Erosion
kg/ha
(échelle log)

FIG: 59 EROSION : EFFETS DE LA PENTE ET DE LA COUVERTURE DU SOL



Il apparait de plus, une très nette différence entre les deux cycles ; celle-ci ne peut pas être imputée à la seule variation climatique. En effet, si le rapport est de 1/2 pour le sol nu (rapport entre les résultats enregistrés au cours des deux cycles), il est de l'ordre de 1/100 pour le mulch et de 1/1000 pour le brûlis !

Ces remarques mettent en évidence l'importance primordiale de la date de plantation ;

premier cycle : les ananas, plantés en mai, couvrent le sol lors de la grande saison des pluies ;

second cycle : la plantation ayant lieu en août, les plants assurent une bien meilleure couverture du sol pour le début de la grande saison des pluies, 10 mois après (cf "évolution du couvert végétal" p.106).

b) les facteurs d'érosion (équation de WISCHMEIER et SMITH 1960)

Si la simple interprétation permet de mettre en évidence divers facteurs (érodibilité, agressivité climatique, couverture végétale etc...), cette équation permet d'en estimer l'importance relative. Compte tenu de leur très grande variabilité, nous ne calculerons ces paramètres qu'à titre indicatif. Seule une étude portant sur un nombre élevé d'année permet de les apprécier avec rigueur (ROOSE ; 1973).

1) Indice d'agressivité climatique R_{USA}

Le calcul de l'indice d'agressivité climatique au cours du cycle nécessite le dépouillement de toutes les pluies de plus de 10 mm. Il tient compte de I_{30} , intensité homogène maximale pendant 30 minutes (WISCHMEIER et SMITH 1960). Nous ne disposons que des résultats du deuxième cycle (cf tableau N° 31) notons que le climat fut particulièrement peu érosif : pendant cette période R_{USA} par le cycle = 512,91

alors que le R_{USA} moyen annuel (sur 27 ans) est de 1260 (ROOSE 1973).

Tableau N° 31 : Pluviométrie et R_{USA} mensuels d'août 1976 à septembre 1977 (2e cycle).

| | A | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A | S | Total |
|-----------|------|-----|------|------|------|-----|-------|-------|-------|--------|--------|-------|------|-------|--------|
| P(mm) | 61,1 | 0,7 | 15,7 | 52,0 | 17,7 | 3,2 | 39,0 | 45,5 | 119,5 | 213,0 | 382,5 | 74,8 | 33,7 | 101,4 | 1152,8 |
| R_{USA} | 0 | 0 | 0 | 6,13 | 4,06 | 0,0 | 35,05 | 17,00 | 51,11 | 117,62 | 251,36 | 13,66 | 0 | 16,92 | 512,91 |

2) Le facteur topographique : SL

L'équation utilisée p. permet de calculer le facteur S1 pour les trois pentes. Nous prendrons pour valeur de n-1 (dans l'expression de 1^{n-1}), celle déterminée au chapitre précédent : n-1 = 0,3.

On obtient ainsi :

| pente (%) | facteur topographique |
|-----------|-----------------------|
| 4 | 0,117 |
| 7 | 0,234 |
| 20 | 1,190 |

Si l'on avait pris n-1 = 0,5 (valeur de WISCHMEIER et SMITH) ce facteur topographique aurait été doublé.

Dans les deux cas, toutes choses étant égales par ailleurs, l'érosion devrait être dix fois plus importante sur la pente de 20% que sur celle de 4% ($S1_{20}/S1_4 = 10,2$). Or, il semble, que pour les deux cycles ce rapport soit légèrement inférieur : on a sur sol nu :

au premier cycle : $E_{20}/E_4 = 9,1$
 au second cycle : $E_{20}/E_4 = 7,1$

Ces résultats semblent confirmer les variations de l'érodibilité en fonction de la pente. Il est nécessaire de vérifier cette hypothèse par le calcul des facteurs K.

3) Erodibilité K

Compte tenu des facteurs déterminés précédemment (RUSA, S1), il est possible de calculer K pour les parcelles nues (C = 1) :

| pente (%) | érodibilité K |
|-------------|---------------|
| 4 | 0,19 |
| 7 | 0,23 |
| 20 | 0,14 |

Il semble que l'hypothèse formulée à propos du ruissellement s'avère exact : le sol sur pente de 20% est moins sensible à l'érosion que les deux autres (surface motteuse). Cette différence s'explique très probablement par des variations de texture et de structure. (le structichron dyscrophe* résisterait mieux à l'érosion que les appumites plus sableux et moins bien structurés en surface).

Notons qu'en adoptant la valeur n-1 = 0,5 au lieu de 0,3, on aurait obtenu pour K les valeurs suivantes :

| pente (%) | érodibilité K (pour n-1 = 0,5) : |
|-------------|----------------------------------|
| 4 | 0,10 |
| 7 | 0,12 |
| 20 | 0,07 |

Ces valeurs appartiennent à l'intervalle déterminé pour ces sols par ROOSE (1973) : 0,05-0,17. (Calculs effectués avec n-1 = 0,5).

* Les horizons superficiels ont été découpés lors de la mise en place des parcelles de 20% de pente.

Les indices d'érodibilité obtenus sur ces parcelles nues, sans apport organique depuis très longtemps, sont beaucoup plus élevés que pour les sols sous prairies très récemment défrichés (cf. essai sous simulation de pluies p.94). Ceci confirme l'intérêt d'effectuer des analyses classiques (% de M.O., granulométrie etc..) pour interpréter les variations de K.

4) Effet couverture du sol : C

Il n'est pas possible de déterminer avec précision la valeur de C (couverture végétale) pour la culture d'ananas.

Elle dépend de la densité de plantation (ici 56.000 plants/ha), mais surtout de la date de plantation. Nous avons vu en effet que les pertes en terres ne sont pas du tout du même ordre lorsque la plantation a lieu avant ou après la grande saison des pluies.

Calculé pour le deuxième cycle, C varie suivant les traitements : de 0 pour le mulch, à $3 \cdot 10^{-4}$ pour le brûlis, et $5 \cdot 10^{-3}$ pour l'enfouissement. Nous ne disposons pas hélas des valeurs d'indice d'agressivité climatique du premier cycle au cours duquel C devait atteindre des valeurs plus importantes (plantation juste avant la saison des pluies).

Pour cette culture nous retiendrons que la date de plantation détermine le niveau d'érosion. Les différences de traitements n'intervenant qu'en second lieu. Il faut souligner cependant que le mulch assure en toute saison une protection très efficace.

II.2.4. Evolution des résidus végétaux : étude des restitutions :

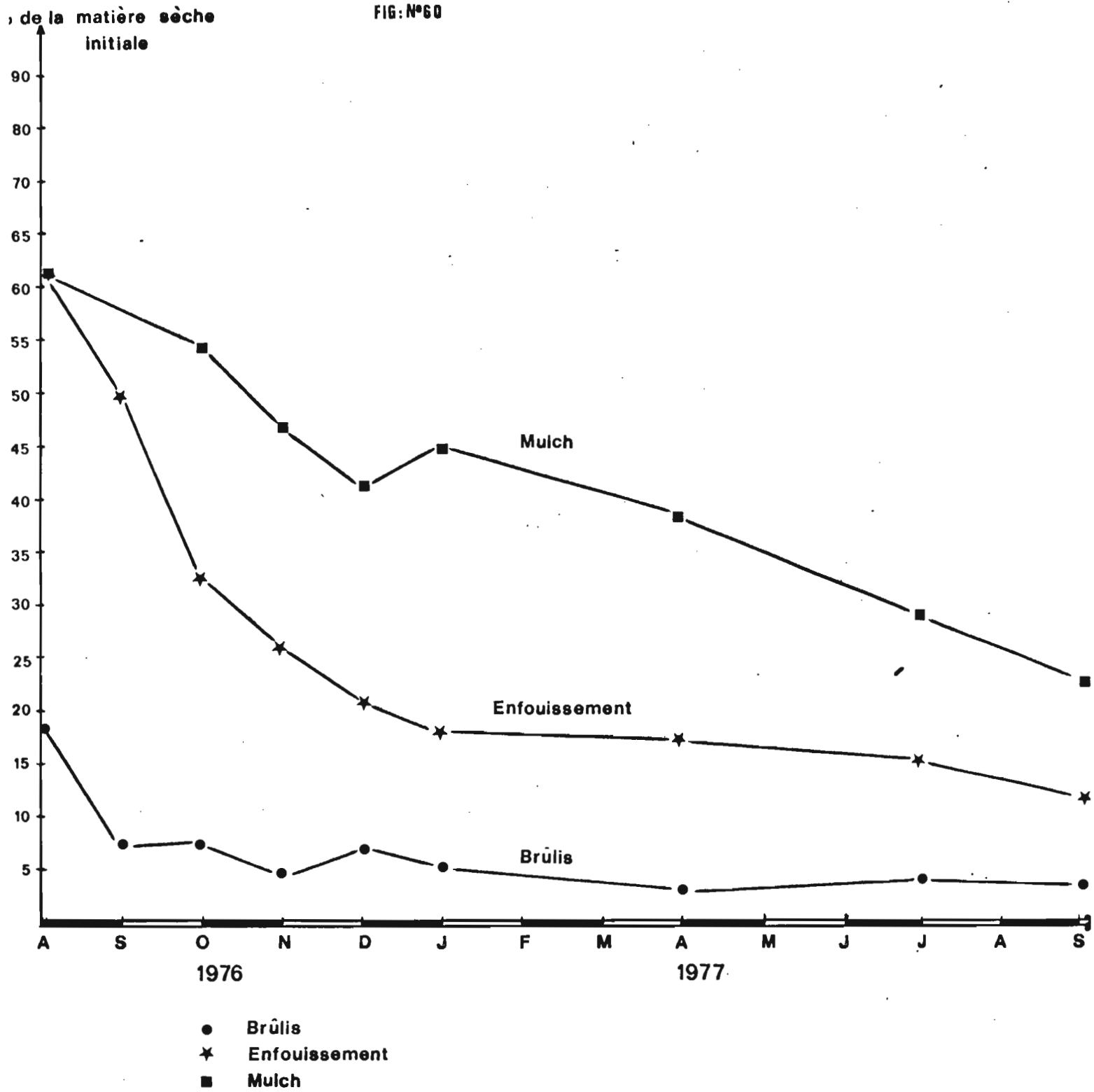
II.2.4.1. Protocole

Afin d'étudier l'évolution des résidus d'ananas, le protocole expérimental prévoit des essais portant sur une série de pots enterrés. On prélève, pour cela, sur l'horizon travaillé, un échantillon d'environ 300 kg de terre. Après homogénéisation, tamisage et échantillonnage très soigné, on répartit cette terre dans 108 sacs (9 par parcelles) d'une contenance d'environ 2,5 kg. Les sacs sont ensuite enterrés sur une profondeur de 20 cm dans un billon sans ananas.

On découpe, en même temps sur le terrain 20 kg de vieux plants d'ananas en morceaux de 3 cm, chaque pot en reçoit 150 grammes (soit 33 g de matières sèches) ce qui correspond à une quantité de 160 tonnes de matières fraîches par hectare (cas moyen observé en plein champ). On applique les mêmes traitements aux résidus étudiés en pots (mulch, brûlis, enfouissement) que sur les parcelles correspondantes. Les pots (sacs plastiques) sont percés dans le fond afin de permettre le drainage. A intervalles rapprochés au début (tous les mois) plus espacés ensuite, (tous les deux mois), on prélève un pot par parcelle (4 répétitions par traitement). Les résidus végétaux sont alors triés à la main, séchés, puis analysés. Un certain nombre de déterminations sont également effectuées sur les échantillons de terre correspondants. On dispose ainsi des courbes moyennes d'évolution en poids sec des résidus pour chaque traitement. Il est possible également de suivre les variations de teneurs en éléments fertilisants dans les résidus (lessivage) ainsi que leur augmentation dans le sol (restitutions).

EVOLUTION DE LA MATIERE SECHE DES RESIDUS DE CULTURE

FIG: N°60



II.2.4.2. Evolution des matières sèches

Les résultats obtenus au cours des deux premiers cycles sont très voisins. On note une stabilisation des masses de matières sèches subsistantes à : (cf figure N° 60).

- 5% de la masse initiale pour le traitement "brûlis". La destruction des résidus par le feu, n'est jamais totale ; même en y apportant beaucoup d'application près de 20% des résidus se maintiennent ; mais leur évolution est accélérée (un mois après, il n'en subsiste plus que 7%).
- en 5 mois les résidus enfouis voient leur masse baisser jusqu'à 15% de leur quantité initiale puis se stabiliser à ce niveau jusqu'à la fin du cycle.
- la diminution est beaucoup plus progressive dans le cas du mulch dont il reste encore 25% de la masse initiale en fin de cycle.

Il est intéressant de souligner que sur les plantations de la SALCI, HAINNAUX et de RICAUX (1977) du laboratoire d'Agronomie de l'ORSTOM ont obtenus des résultats pratiquement identiques, en effectuant des prélèvements en plein champ : ils obtiennent, six mois après plantation : 18% pour le traitement "enfouissement" et 31% pour le mulch.

Ces dynamiques différentes reflètent des vitesses de minéralisation plus ou moins rapides, qu'il est important d'étudier en raison des quantités d'éléments fertilisants en jeu.

a) Valeur nutritive des résidus

Il importe de signaler l'intérêt économique de ces résidus dont la valeur nutritive est considérable particulièrement en ce qui concerne la potasse.

Le tableau N° 32 présente les quantités d'éléments dans les tiges et les feuilles présentes, à la récolte, pour une plantation de 56.000 plants/ha destinés à la production de "fruits frais". On remarquera la proportion élevée de ces immobilisations par rapport aux quantités d'engrais minéraux apportés par cycle.

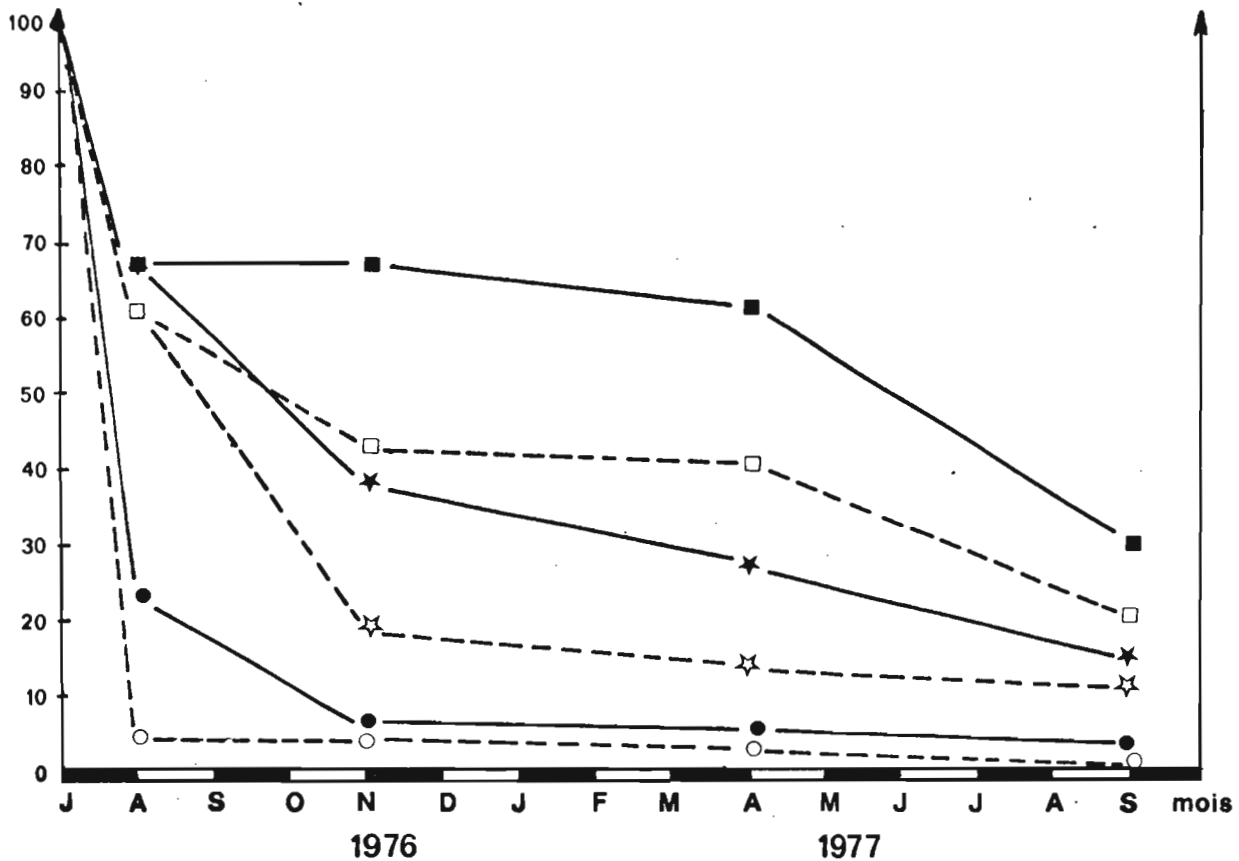
Tableau N° 32 : Immobilisation des éléments par les résidus de récolte.

| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | MgO |
|--|-----|-------------------------------|------------------|-----|-----|
| Immobilisations dans les résidus (kg/ha) | 228 | 92 | 762 | 208 | 88 |
| Apports d'engrais minéraux (kg/ha) | 555 | 238 | 1008 | 813 | 310 |
| Résidus/Engrais (%) | 41 | 39 | 76 | 26 | 28 |

EVOLUTION DU CARBONE ET DE L'AZOTE TOTAL DANS LES RESIDUS

% du stock initial

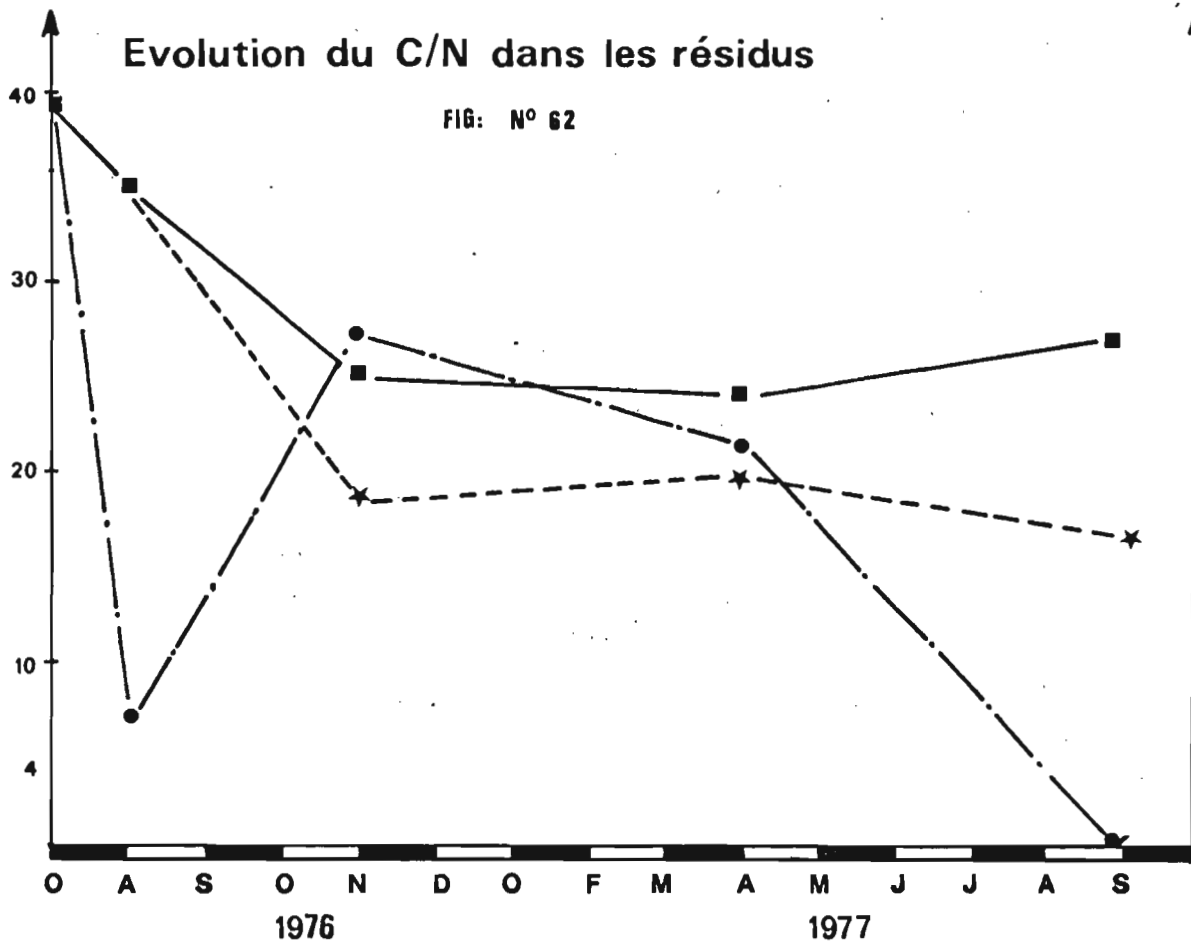
FIG: N° 61



| | | |
|---------------|---------|---------|
| Traitements | Carbone | N total |
| Brûlis | ○ | ● |
| Enfouissement | ☆ | ☆ |
| Mulch | □ | ■ |

Evolution du C/N dans les résidus

FIG: N° 62



b) Dynamique des restitutions

1) Evolution des teneurs dans les résidus

Les essais en pots nous permettent de suivre l'évolution des teneurs en éléments fertilisants des résidus dont la quantité initiale s'élève à 24 tonnes de matières sèches par hectare. Nous avons reporté les résultats sur les graphes N°s 61 à 66, exprimés en pourcentages du stock initial.

11) Azote et carbone : (cf. figures N°s 61 et 62)

l'évolution des teneurs en azote et en carbone reflète celle des matières sèches :

- le brûlis entraîne une perte dans l'atmosphère (NO, NO₂) de 175 kg/ha d'azote, soit plus des 3/4 des quantités initiales.
- les pertes d'azote par les résidus enfouis (minéralisation et lessivage) sont très importantes lors des 4 premiers mois (62% du stock initial), pour atteindre 85% en fin de cycle. L'évolution est beaucoup plus lente dans le cas du mulch : 30% de l'azote initial se maintient encore dans les résidus à la récolte.
- l'évolution du rapport C/N reflète les différentes "capacités minéralisatrices" (DUCHAUFOR 1970) des traitements (cf. figure N° 62) : les résidus enfouis ont une minéralisation plus rapide que ceux laissés en surface. Dans le cas du brûlis les trop faibles quantités de carbone et d'azote excluent les possibilités d'interprétation du rapport C/N.

12) Phosphore et bases (cf. figures N°s 63 à 66)

Pour chaque traitement, les courbes d'évolution du phosphore et des trois bases (K, Ca et Mg) sont très voisines :

- 90% de ces éléments ont été restitués au sol, quatre mois après le passage du feu.
- 60% du phosphore, du calcium et du magnésium sont minéralisés dans les trois mois qui suivent l'enfouissement, alors que 50% seulement de ces éléments sont libérés dans les dix premiers mois pour le mulch. Le lessivage de la potasse à partir des résidus en surface paraît plus important que pour les autres bases : 75% du stock initial en 10 mois.

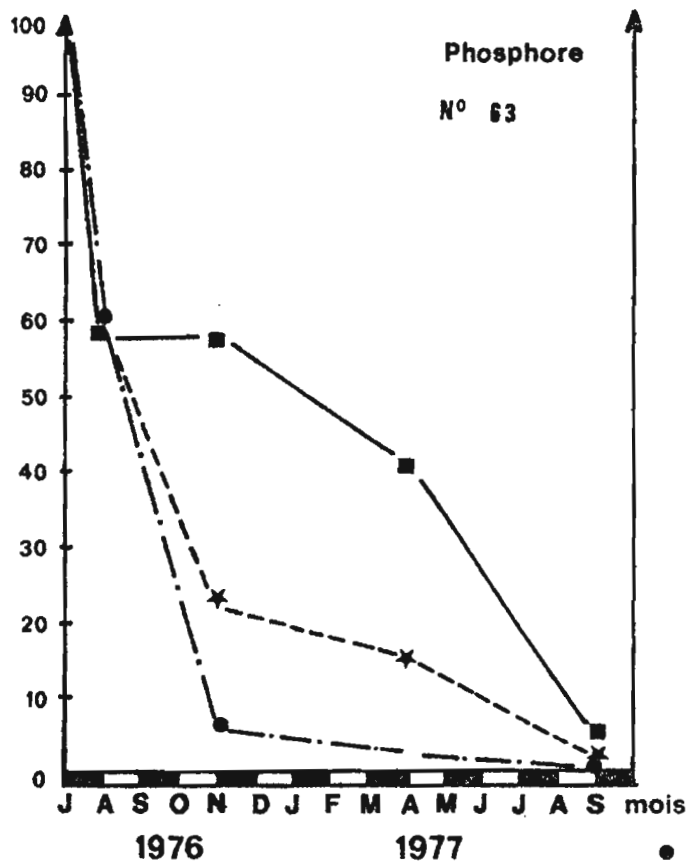
2) Evolution des teneurs dans le sol

21) L'azote

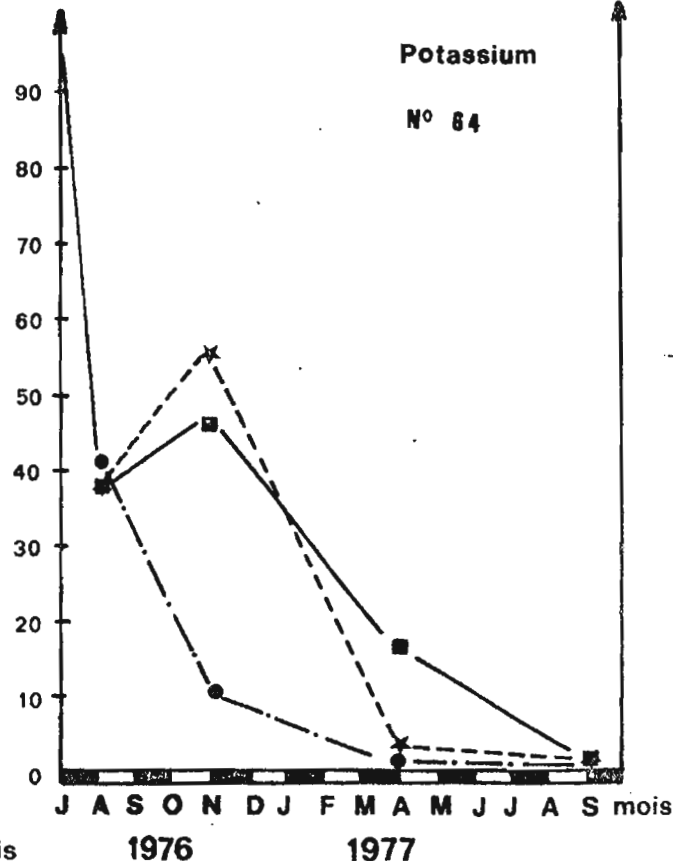
L'étude des teneurs en azote sous ses différentes formes permet une étude sommaire de sa dynamique saisonnière.

ESSAI EN POTS . EVOLUTION DES TENEURS DANS LES RESIDUS

% du stock initial

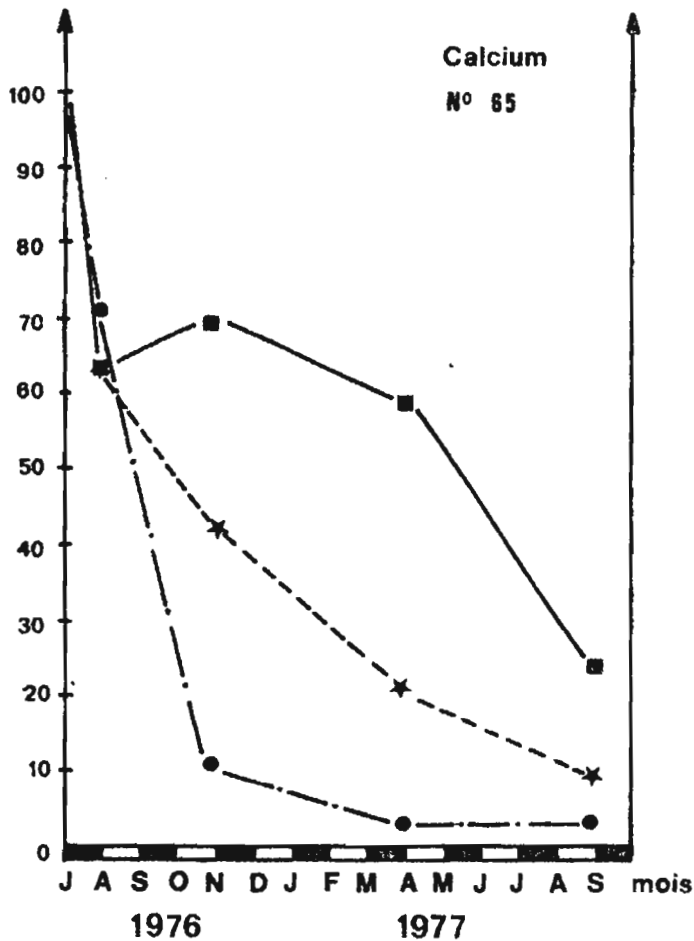


% du stock initial

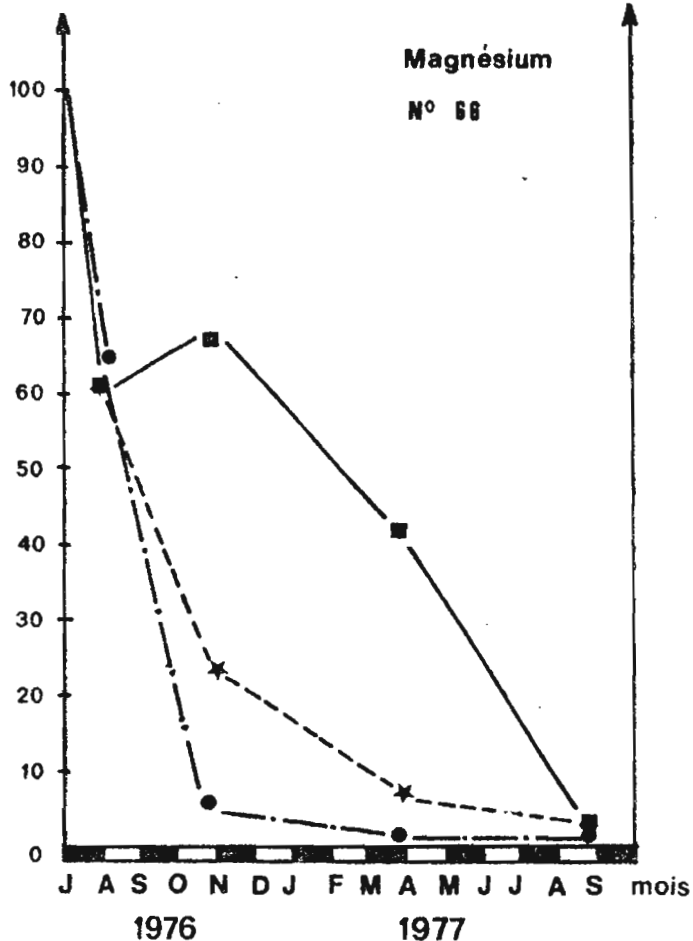


- Brûlis
- ★ Enfouissement
- Mulch

% du stock initial



% du stock initial



211. Azote nitrique : (cf. figure N° 68) :

L'évolution des teneurs en nitrates est très voisine pour les trois traitements ; seuls diffèrent les maxima atteints : enfouis > brûlis > mulch. Les taux augmentent pendant les 10 mois suivant la plantation. Ce gain en nitrates dans les 20 premiers centimètres peut être attribué à la minéralisation de l'azote organique du sol et à celle des résidus. Si l'on considère que la nitrification est plus rapide pour les résidus végétaux que pour la matière organique du sol, et plus particulièrement en saison sèche, l'augmentation des teneurs en nitrates serait essentiellement due aux restitutions.

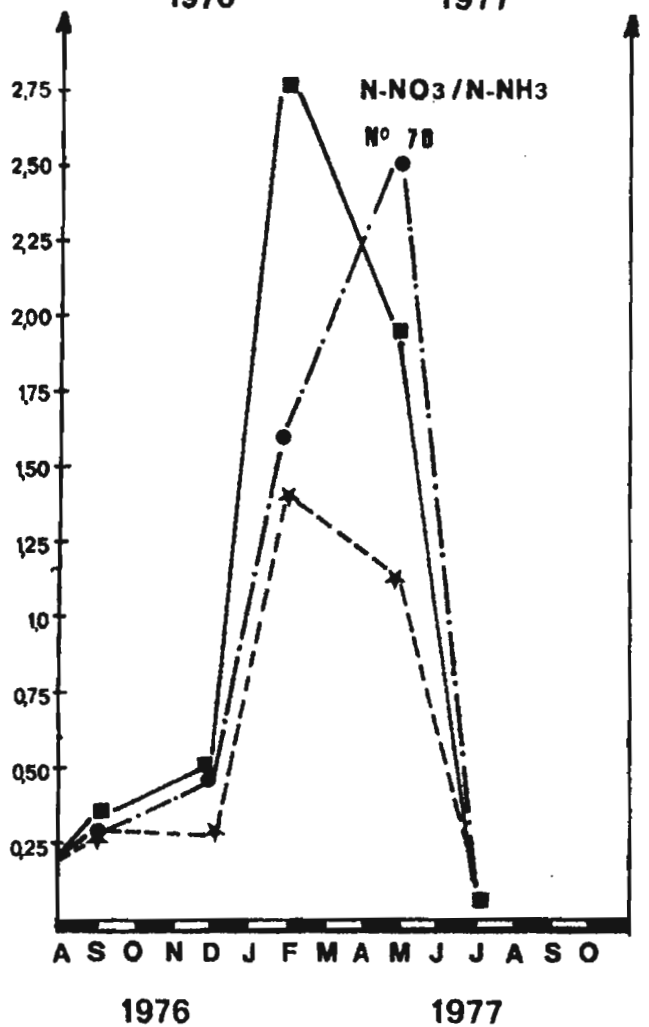
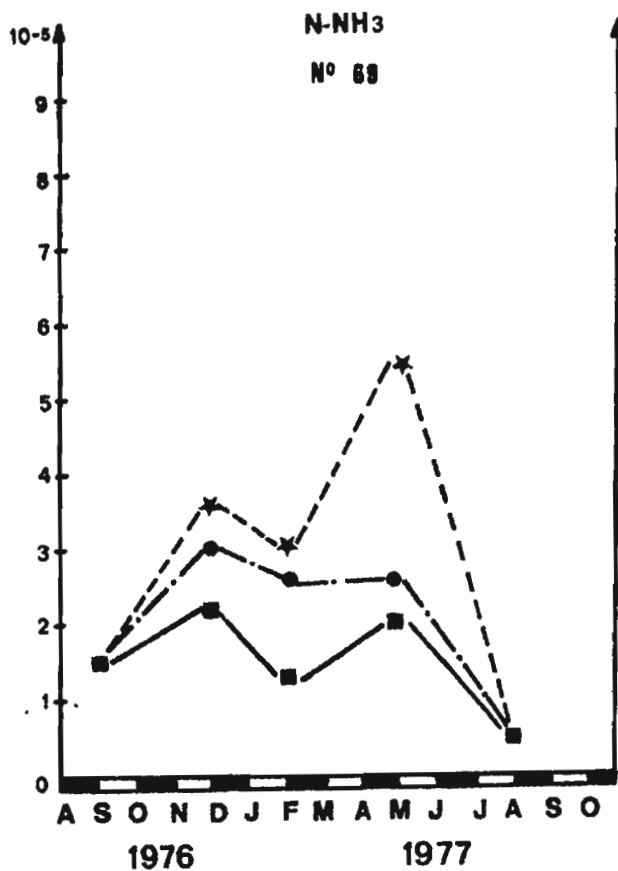
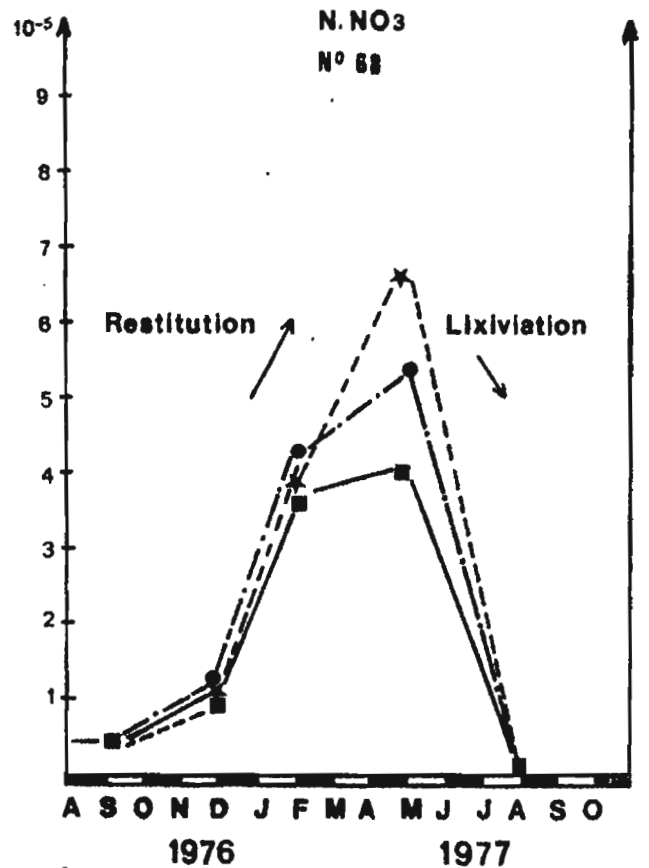
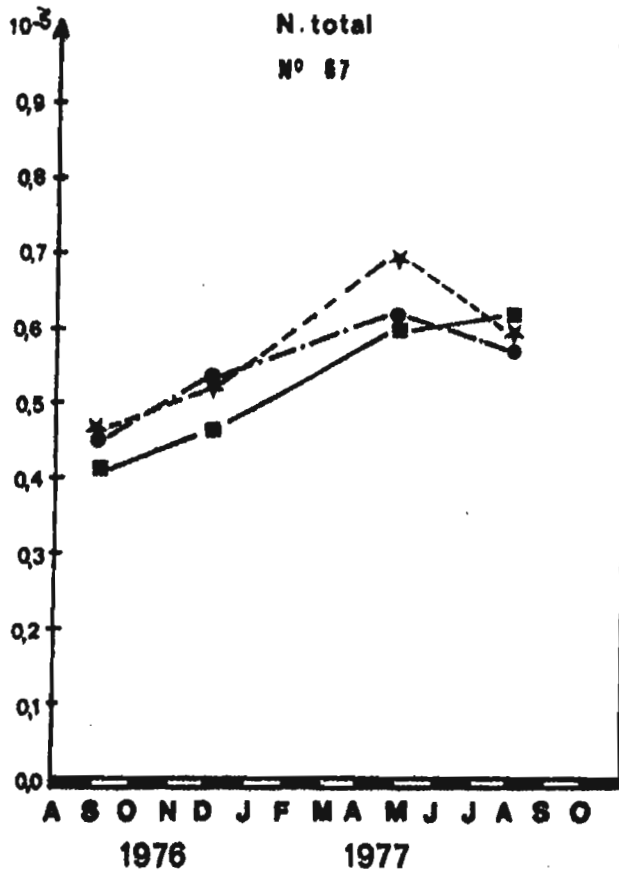
La chute brutale de ces teneurs entre mai et août est à reprocher de la saison des pluies (cf. figure N° 56). La totalité des nitrates restitués par les résidus seraient alors entraînés par lixiviation au-delà de 20 cm de profondeur c'est à dire en dehors de la zone d'activité racinaire. Il est en effet beaucoup plus probable que cette disparition rapide des nitrates soit imputable à l'action des eaux de drainage qu'à la dénitrification, processus microbien anaérobie strict. Il n'est pas impossible néanmoins que l'enfouissement d'une masse végétale aussi important favorise l'apparition de zone réduite très localisée. La présence de pseudo-gley au niveau du travail du rotavator (20 cm) a d'ailleurs été signalée par les agronomes de l'ORSTOM étudiant des profils culturaux à la SALCI (HAINNAUX et de RICAUD ; 1977). La dénitrification serait alors très limitée mais une étude particulière devrait le démontrer.

212. Azote ammoniacal : comme pour l'azote nitrique deux phénomènes peuvent expliquer l'augmentation des teneurs en ammoniacque au cours des 10 premiers mois : l'ammonification est moins ralentie en saison sèche que la nitrification (cf. figure N° 69). Mais en saison des pluies le gain en ammoniacque est complètement effacé par la lixiviation.

213. Rapport Azote nitrique/Azote ammoniacal : en vue d'une première évaluation de l'activité nitrificatrice du sol, nous avons reporté sur la figure N° 70, l'évolution du rapport $N-NO_3/N-NH_3$. Dans le cas du brûlis pour lequel les restitutions en azote minérale sont le moins marquées, il semble exister un pic de nitrification en début de saison des pluies. Pour les autres traitements, l'évolution semble davantage commandée par les différences de vitesse de restitution de la part des résidus : les nitrates seraient plus vite libérés que l'ammoniacque. Nous présenterons plus loin (cf. pp.) une étude plus approfondie des vitesses de nitrification.

214. Azote total (azote organique + azote minéral) : les quantités d'azote total (et donc d'azote organique principalement) varient peu d'un traitement à l'autre et au cours du cycle de culture. Il est intéressant de souligner que les teneurs pour le traitement brûlis sont très voisines de celles des autres. On observe un léger entrainement de l'azote organique par les eaux de drainage lors de la saison des pluies. Sur l'ensemble du cycle l'augmentation en azote total due aux restitutions par les résidus est d'environ : 16% pour le brûlis, 21% pour l'enfouissement et 26% pour le mulch. La lenteur relative des restitutions d'azote organique à partir des résidus laissés en surface permet de limiter les risques de perte par lixiviation.

ESSAI EN POTS - EVOLUTION DES TENEURS DANS LE SOL



- BRÛLIS
- ★ ENFOUISSEMENT
- MULCH

Notons qu'il serait très intéressant de suivre l'évolution de ces résidus en utilisant la méthode préconisée par FELLER (1976) : le fractionnement de la matière organique est réalisé selon des critères physiques : densité, granulométrie des résidus... L'étude approfondie de l'évolution de la matière organique est actuellement effectuée par M. MOREAU. (Acides humiques, acides fulviques etc...)

22) Les autres éléments (cf. figure N° 71)

221. Le phosphore : la dynamique du phosphore assimilable (méthode Olsen) est très proche de celle de l'azote organique. On note un doublement des teneurs du fait des restitutions puis une baisse brutale que l'on peut attribuer à la lixiviation au moins sur les 20 premiers centimètres, (le phosphore migre peu). Le gain en fin de cycle est par rapport aux teneurs initiales de : 21% pour le brûlis, 13% pour l'enfouissement et de 26% pour le mulch.

222. Les bases échangeables : les bases ont une dynamique voisine, c'est pourquoi nous nous sommes contentés de représenter l'évolution de la somme des bases échangeables du sol. Nous avons porté également sur la figure N° 72, les courbes de variation des teneurs en potassium dans les résidus (figure N° 64). Il est facile de comparer sur ce graphe les gains dans le sol et les pertes par les résidus. Comme pour les éléments précédents, le drainage favorise en saison des pluies, la lixiviation des bases échangeables en dehors de la zone exploitée par les racines. En effet les anions NO_3^- très solubles entraînent les cations en profondeur.

3) Agrégats stables: diverses mesures physiques sont également réalisées sur les terres des pots. Les différences les plus nettes entre traitements apparaissent sur les pourcentages d'agrégats stables au benzène (figure N° 73). Alors qu'ils auraient tendance à diminuer au cours du cycle dans le cas du brûlis, ils augmentent de 85% pendant les 4 premiers mois pour l'enfouissement. Cette phase correspondrait à la fragmentation rapide des éléments enfouis (fraction ML1 de FELLER 1976) ? Ensuite ce pourcentage s'abaisse progressivement pour atteindre en fin de cycle 15% seulement de plus qu'au début, (contre 23% pour le mulch). L'effet bénéfique de l'apport de matière organique sur la stabilité des agrégats seraient donc de courte durée sur ces sols à sables grossiers (plus de 50% de S.G.).

II.2.4.3. Conclusion

Ces premiers résultats obtenus à partir des essais en pots soulignent l'importance de la date de plantation. Il ne suffit pas, en effet, que les éléments fertilisants soient libérés par les résidus pour assurer leur utilisation ; encore est-il nécessaire qu'ils se maintiennent au niveau des racines. Or ce n'est pas le cas en saison des pluies : toutes les bases et l'azote minéral quittent la zone d'activité racinaire.

Fig. 71

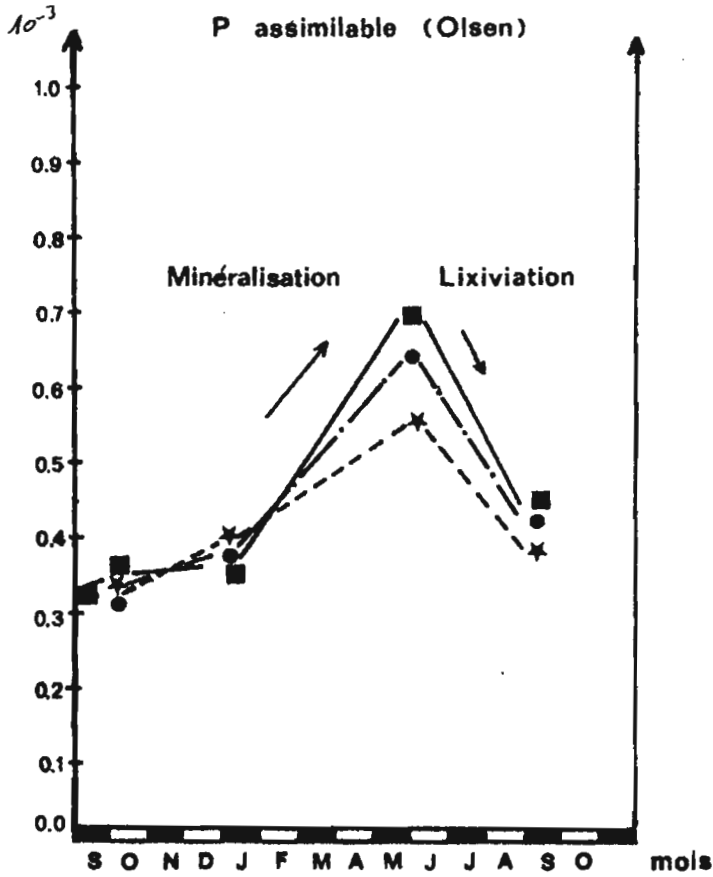


Fig. 72

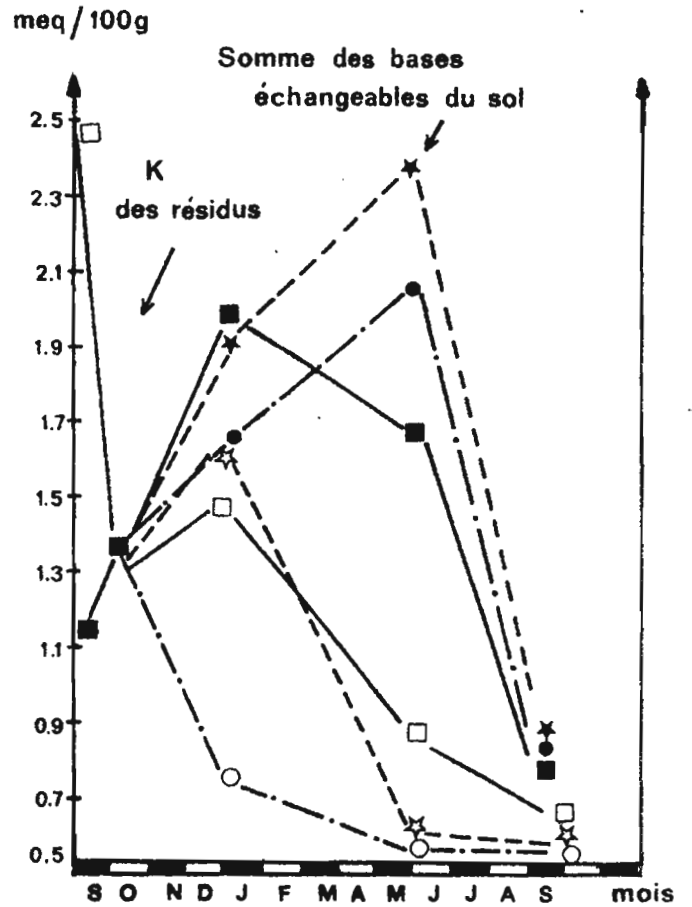


Fig. 73

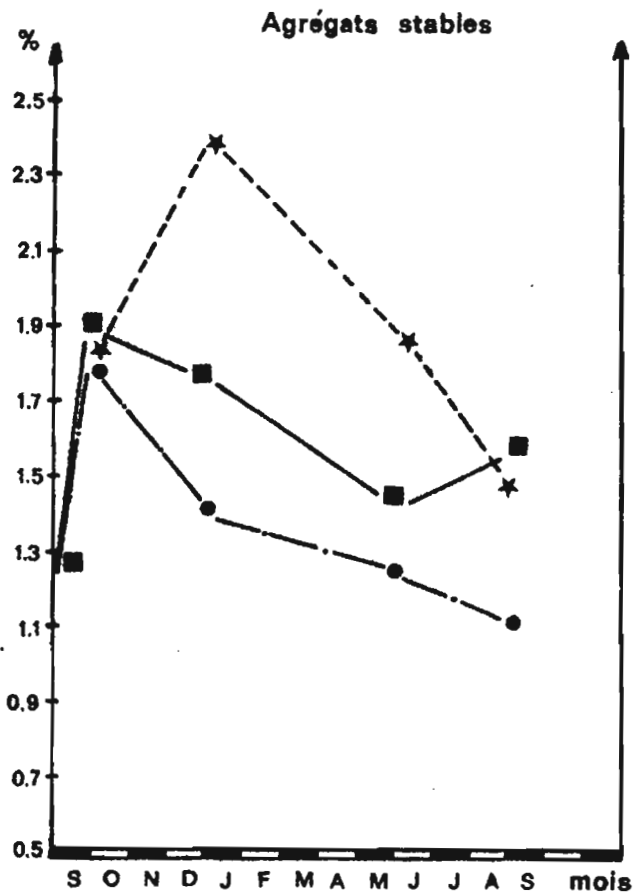
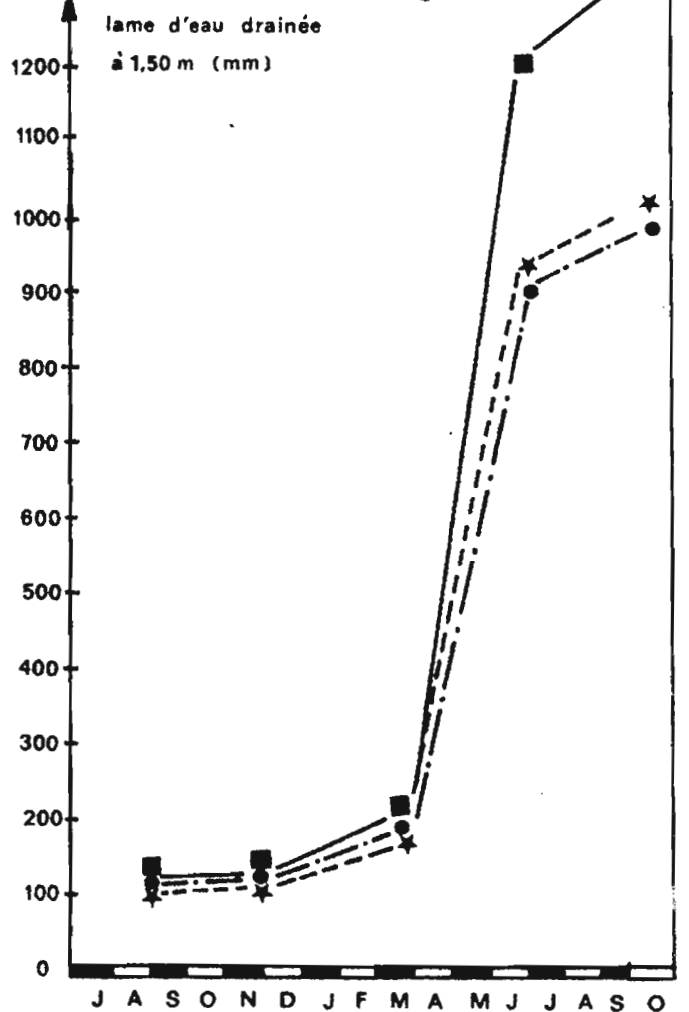


Fig. 74 Variations saisonnières du drainage



Il est par conséquent impératif que les racines profitent de l'apport des éléments issus des résidus avant la saison des pluies. Dans le cas du brûlis et de l'enfouissement, il est souhaitable de planter peu de temps après le passage du feu ou du rotavator. La meilleure période semble se situer en début de saison sèche, lorsque l'humidité du sol permet encore facilement l'absorption des éléments minéraux sans que ceux-ci ne subissent de lixiviation. Le mulch, dont la minéralisation est lente, serait plutôt à préconiser, une nouvelle fois (cf. "protection du sol" p. 111) lorsque la plantation doit avoir lieu en début de saison des pluies.

Ces essais mis en place en premier lieu pour suivre l'évolution des résidus végétaux ont révélé de surcroît l'importance des pertes par lixiviation au niveau racinaire.

II.2.5. Les pertes par lixiviation :

II.2.5.1. Dispositif expérimental

L'entraînement des éléments nutritifs par drainage est étudié sur 12 lysimètres mis en place depuis près de dix ans par ROOSE et Henry des TUREAUX (1970). Nous considérerons que les caractéristiques physiques de ces colonnes de sol non remanié de 63 cm de diamètre et de 150 cm de profondeur sont représentatives de celles des parcelles de 50 m² qui les contiennent, et où sont appliqués les mêmes traitements. Ce protocole permet de disposer de quatre répétitions par technique testée. Il est important de signaler que les estimations de pertes sont effectuées sous les billons c'est à dire là où le drainage est vraisemblablement le plus fort (cf "infiltration" p. 108) et où ont lieu les apports d'engrais. Le nombre de lysimètres n'a pas rendu possible l'étude de la lixiviation sous les interlignes.

Les mesures sont classiques : on note le volume drainé à travers les différentes colonnes et après chaque pluie (ou toute les semaines pendant les saisons peu pluvieuses). Au cours du cycle, 5 ou 6 échantillons d'eau drainée sont analysés par lysimètre, dans les laboratoires de l'IRFA et de l'ORSTOM. Chacun d'eux est constitué des fractions aliquotes prélevées après chaque pluie.

II.2.5.2. Résultats des études lysimétriques

a) importance du drainage

Nous indiquons au tableau N° 33 les coefficients de drainage de chaque traitement pour les deux premiers cycles. (le coefficient de drainage est ici le pourcentage d'eau drainée sur une profondeur de 150 cm, par rapport à l'eau de pluie reçue) :

Tableau N° 33 : Influence des traitements sur les coefficients de drainage.

| Traitement | 1er cycle | | 2ème cycle | |
|---------------|-----------|--------|------------|-------|
| Brûlis | 3502 mm | 104,9% | 989 mm | 73,7% |
| Enfouissement | 3402 mm | 101,9% | 13034 mm | 77,1% |
| Mulch | 4158 mm | 124,6% | 1318 mm | 98,2% |

Du fait du port particulier de l'ananas, ses feuilles couvrent, à maturité, une surface réceptrice d'eau plus grande que celle des lysimètres. Les pourcentages de drainage dépassent ainsi 100% pendant le premier cycle pour lequel la couverture du sol fut mieux assurée qu'au second (cf. fig. N° 57 et "rendements" p.).

Alors que la différence entre les traitements brûlis et enfouissement est peu marquée (ou même non significative), les volumes drainés sous mulch sont pour les deux cycles environ supérieurs aux autres traitements, de 20%. Plusieurs causes peuvent être invoquées :

- le mulch réduirait l'évapotranspiration réelle (E.T.R.) et limiterait ainsi les mouvements ascendants d'eau non saturante (cf. "profils hydriques" p.128)

- la présence de résidus en surface favorise l'infiltration et donc l'augmentation du stock d'eau susceptible de drainer (cf. ruissellement et infiltration p.109).
- la différence de développement des plants (3 semaines d'avance dans le cas du mulch) n'intervient pas, par contre, sur le drainage puisque les résultats concernant les rendements sont opposés d'un cycle à l'autre .

Il apparait donc que si le mulch réduit considérablement les pertes en terre (cf. pp.109-113)il favorise par ailleurs le drainage (cf. figure N° 74). Cette action peut être très défavorable pour la nutrition des plantes puisqu'elle entraine une augmentation des pertes d'éléments fertilisants.

b) Les quantités lixiviées

Les divers éléments nutritifs migrent plus ou moins dans la solution du sol et peuvent être entraînés en profondeur (150 cm). Ces quantités lixiviées dépendent essentiellement, pour chacun d'entre eux, des volumes drainés : c'est ce qui ressort de la comparaison des courbes cumulées de drainage (figure N° 74) et des pertes chimiques (figures N° 78 à 81) sur l'ensemble du deuxième cycle.

Le tableau N° 34 indique les quantités d'éléments lixiviés sur 1,50 m, exprimées en kg/ha et en % d'engrais minéraux apportés. Les pertes sous les interbillons ne sont pas prises en compte, les apports ayant lieu sur les lignes de plantation.

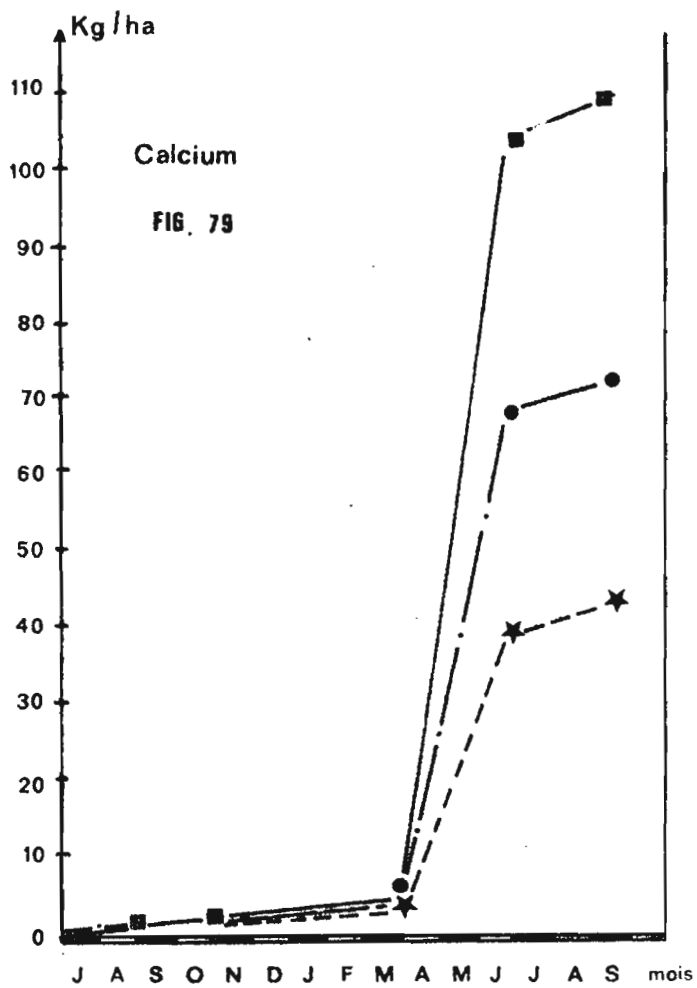
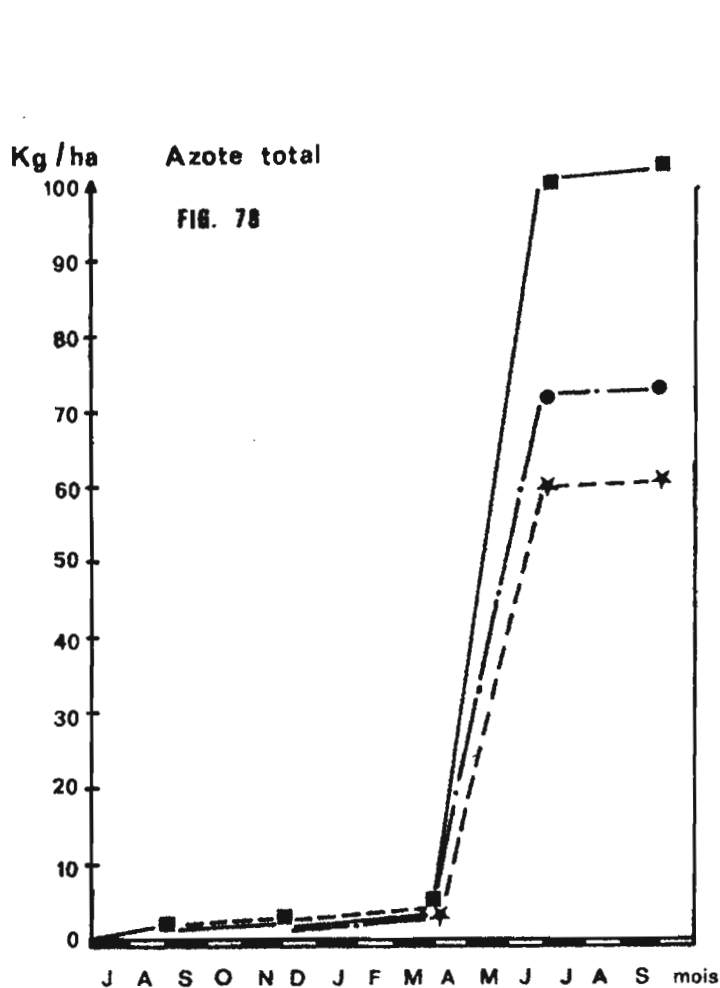


FIG : PERTES PAR LIXIVIATION CUMULEES SUR LE CYCLE

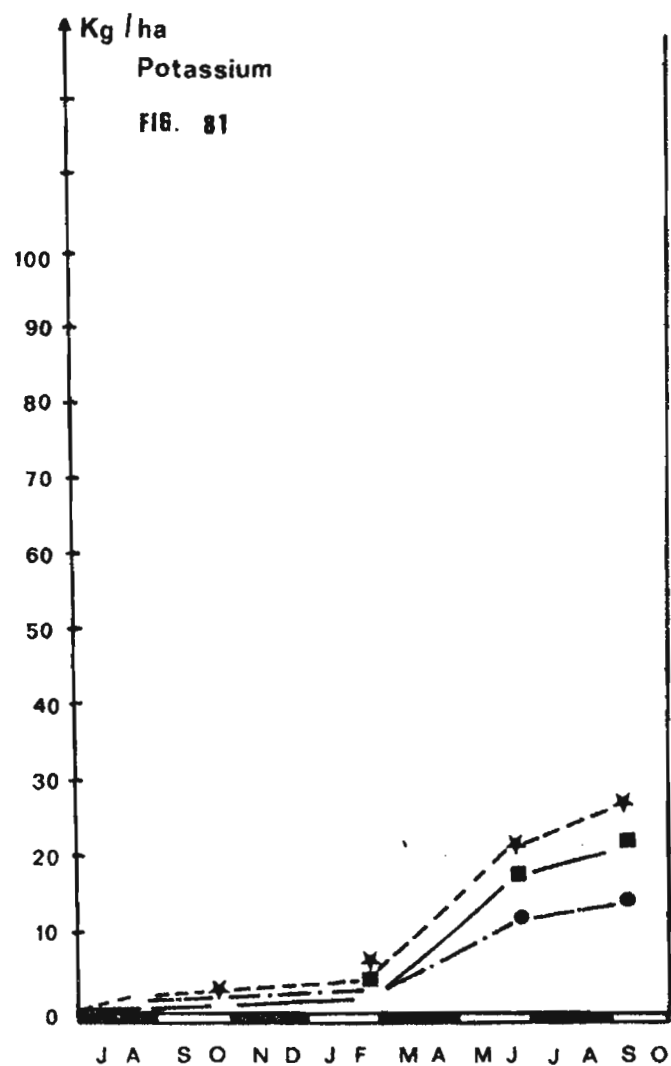
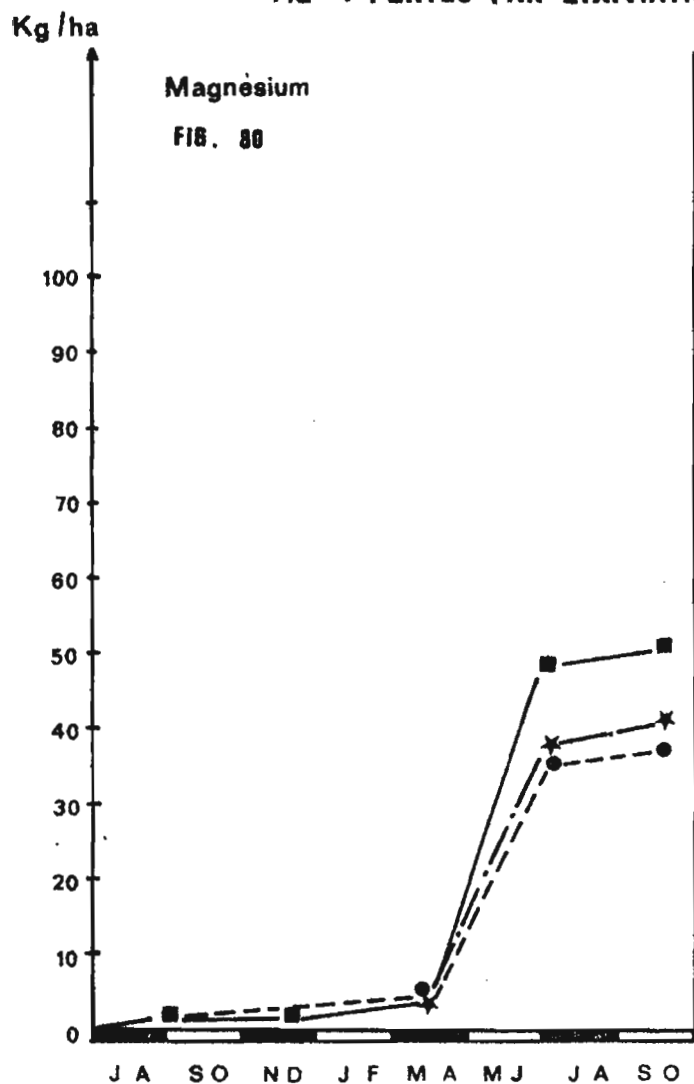


Tableau N° 34 : Quantités d'éléments lixiviés sous trois cultures d'ananas.

| Eléments | Premier cycle kg/ha et % | | | Second cycle kg/ha et % | | | Engrais minéraux kg/ha |
|-------------------------------|-----------------------------|--------------------|-----------|----------------------------|--------------------|-----------|------------------------------|
| | brûlis | enfouis- sement | mulch | brûlis | enfouis- sement | mulch | |
| N Total | 125 23 | 107 19 | 116 21 | 73 13 | 62 11 | 102 18 | 555 |
| P ₂ O ₅ | 2 1 | 1 | 1 | | 2 1 | | 238 |
| K ₂ O | 59 6 | 102 10 | 43 4 | 16 2 | 32 3 | 26 3 | 1008 |
| CaO | 317 39 | 246 30 | 412 51 | 126 15 | 80 10 | 200 25 | 813 |
| MgO | 163 53 | 170 55 | 156 50 | 66 21 | 66 21 | 81 26 | 310 |
| TOTAL | 666 | 626 | 728 | 282 | 242 | 410 | 2924 |

1) Azote total

L'azote des eaux drainées est présente sous des formes diverses. Le rapport azote organique/azote minéral est sensiblement le même pour les trois traitements et au cours des deux cycles ; les pertes s'effectuent essentiellement sous forme de nitrates (+ nitrites) (de 84 à 92%) alors que la lixiviation sous forme ammoniacale est toujours très limitée (moins de 1%). Ces résultats peuvent exprimer soit une bonne nitratisation générale (NH₃ — N₂O), soit une migration plus facile pour les nitrates et nitrites que pour l'ammoniaque. L'azote organique ne constitue qu'une fraction peu importante des pertes azotées (de 6 à 16 %).

Lors des deux premiers cycles les quantités lixiviées ont varié entre 11 et 23% des apports minéraux. Les pertes sont maximales lorsque le brûlis précède de peu une période pluvieuse (premier cycle). Elles ne correspondent pas toutefois aux migrations enregistrées sur les 20 premiers centimètres (cf. figure N° 68 ; entre 100 et 150 kg/ha pour N-N₀₃). Or la plus forte densité racinaire se trouve précisément dans ce premier horizon. Il est vrai qu'il est difficile de comparer des pertes sur des pots non fertilisés à celles que l'on enregistre sur 150 cm sous culture. Il semble néanmoins que la lixiviation soit plus importante dans les horizons superficiels sableux que sur l'ensemble du profil qui, rappelons le, (cf. "approches descriptives" p. et tableau N° 22 ; sol sur matériau sableux de faible pente) présente un horizon plus argileux en profondeur (structichron). L'étude des pertes par drainage sur 150 cm ne donnerait qu'une estimation très approchée (et probablement minorée) des pertes au niveau des racines).

L'apport d'engrais s'effectue sous forme d'urée en solution. Le fractionnement est important : 7 pulvérisations durant les 30 premières semaines. La minéralisation de l'urée libère vraisemblablement les nitrates trop rapidement et provoque, malgré le fractionnement, des pertes qui ne sont pas négligeables. Il serait intéressant de se pencher sur les avantages que présenterait un engrais retard (urée par exemple associée à un inhibiteur léger de la nitrification ?).

2) le Phosphore :

Des divers éléments nutritifs, c'est le phosphore qui migre le moins, les pertes par cycle sont insignifiantes. L'emploi des phosphates comme engrais de fond paraît justifié.

3) Les bases :

Les pertes en bases sont bien plus importantes puisqu'elles peuvent représenter jusque 55% des apports de magnésie et 51% de chaux. Cependant la lixiviation de la potasse est limitée (de 3 à 10%). Il peut paraître surprenant que le cation K^+ monovalent migre moins que les cations bivalents (Ca^{2+} et Mg^{2+}) en principe mieux fixés sur le complexe absorbant. Pourtant les rapports K/Ca et K/Ca + Mg s'inscrivent dans les limites présentées par BOYER (1970). Nous trouvons, pour l'horizon 0-20 cm, les moyennes suivantes pour les 12 parcelles :

(prélèvements effectués avant le premier cycle)

| | |
|-----|-------------------|
| Ca | : 0,36 meq./100 g |
| Mg | : 0,21 meq./100 g |
| K | : 0,02 meq./100 g |
| Na | : 0,02 meq./100 g |
| S | : 0,61 meq./100 g |
| S/T | : 14 % |

Toute considération sur les équilibres au sein du complexe est cependant inutile, dans ce cas précis : le calcium échangeable (59% de S) correspond pour les 20 premiers centimètres (densité apparente 1,2) à 24 kg/ha ! Il y a compétition pour les éléments non retenus par le complexe absorbant entre l'absorption par les racines d'ananas et la lixiviation. Ceci explique les résultats des essais en pots (cf. figure N° 72) : les pertes en bases sont très importantes puisque la capacité d'échange est faible (cf. p.125) et qu'aucun système racinaire ne vient les assimiler.

Nous évaluerons le besoin des plantes (56.000 pieds/ha) à partir des quantités immobilisées dans les tiges et les feuilles, et de celles qui sont nécessaires à la formation des fruits (55 tonnes/ha, données indiquées par PY et TISSEAU 1965). Le tableau N° 35 résume ces estimations :

Tableau N° 35 : Estimation des pertes en éléments fertilisants, hors de la zone d'activité racinaire de l'ananas.

| éléments fertilisants | besoin de l'ananas kg/ha | apports d'engrais kg/ha | pertes prévues hors de la zone d'activité racinaire kg/ha |
|-----------------------|-----------------------------|----------------------------|--|
| CaO | 225 | 813 | 588 |
| MgO | 98 | 310 | 212 |
| K ₂ O | 893 | 1008 | 115 |

Il est intéressant de souligner que les prévisions de ce tableau classent les cations bivalents en tête des pertes, dans l'ordre : Ca > Mg > K. C'est bien ce que l'on observe sur les figures N°s 79, 80 et 81.

Notons que le fractionnement en 7 pulvérisations paraît limiter les pertes de potasse à un niveau assez bas. L'utilisation de la dolomie comme engrais de fond semble par contre une erreur : l'apport de quantités très importantes (813 kg/ha de CaO et 310 kg de MgO) en une seule fois favorise la lixiviation. Il serait certainement nécessaire d'apporter cet engrais en plusieurs fois. Les écarts entre besoins de la plante et quantités d'engrais utilisés rappellent que la dolomie a deux fonctions : la nutrition de l'ananas mais aussi le maintien du pH à un niveau satisfaisant (6-7). Or les formes d'engrais (sulfate de potassium et urée) sont susceptibles (BOYER 1970) d'acidifier les sols (expulsion des bases du complexe et remplacement par des ions hydronium).

Une étude particulière pourrait être menée sur la dynamique du potassium dans la culture de l'ananas. L'analyse des pertes par lixiviation, surtout au premier cycle (ROOSE, MOREAU et VALENTIN, 1976), révèle en effet qu'elles augmenteraient subitement dès la maturité du fruit et lors de la récolte. Une certaine quantité de potasse serait rejetée par les racines au cours de cette période. Un tel phénomène serait à rapprocher de celui décrit par CHABALIER (1976) sur le maïs.

Les différences entre traitements semblent être déterminées principalement par les volumes drainés. Les pertes sous les résidus laissés en surface sont supérieures, pour toutes les bases, à celles enregistrées sous le traitement brûlis.

II.2.5.3. Dynamique de la lixiviation

Compte tenu de la faible capacité d'échange, et des coefficients de drainage très élevés, les engrais apportés pendant la saison des pluies risquent d'être très vite entraînés en profondeur. Il ne semble pas inutile d'estimer l'ordre de grandeur des pertes dans des conditions extrêmes : lors d'une pluie violente, survenant 24 h après une pulvérisation d'engrais.

Pour cela, nous avons réalisé une série d'essais, sur les conseils de M. ROOSE, en nous rapprochant au plus près des conditions au champ. Neuf lysimètres, sous végétation naturelle depuis 3 ans, ont été dégagés, puis billonnés :

- 3 en sol nu
- 3 avec ananas sans engrais
- 3 avec ananas et engrais.

Les rejets ont été plantés à raison de 4 par lysimètre et sur de petites parcelles attenantes. L'apport d'engrais de fond (phosphates et dolomie) a eu lieu en même temps que la plantation (quantités pesées au trébuchet). Un mois après, le sol des lysimètres a été porté à une humidité voisine de la saturation. Nous avons opéré juste avant la pulvérisation de sulfate de potasse et d'urée aux doses habituelles, en prenant soin de porter le jet à l'intérieur de la colonne de terre. Le lendemain une pluie de 100 mm en 70 minutes a été simulée grâce à l'emploi de l'infiltromètre sur chaque lysimètre.

Après avoir couvert les colonnes pour les protéger des pluies naturelles, nous avons recueilli pendant 10 jours les eaux de percolation (coefficient de drainage : 75% dont 50% dans les 24 heures suivant la pluie). Les lysimètres ensuite découverts ont été soumis aux précipitations naturelles pendant 50 jours (P = 108 mm). A l'issue de cette période, les eaux de drainage ont été, comme les premières, soumises aux analyses chimiques classiques.

Pour tous les éléments (N total, N-NH₄, N-NO₃, Ca, Mg, K P205) aucune différence significative n'a été trouvée pour les trois types de lysimètres : ananas avec et sans engrais, et sol nu sans engrais.

L'eau migre très rapidement : 50% du drainage s'effectue dans les 24 heures suivant la pluie simulée. (Nous n'avons pas encore dépouillés les profils hydriques réalisés à la sonde neutronique pendant la pluie et la phase de ressuyage). Par contre les éléments fertilisants même les plus solubles ne semblent pas être entraînés aussi vite. En ce qui concerne l'azote, il est permis de supposer l'existence d'un équilibre entre la minéralisation rapide de l'engrais, la réorganisation au sein de la matière organique humifiée et les pertes, surtout minérales, par lixiviation. Le drainage entrainerait les nitrates lorsque ceux-ci n'ont pas le temps d'être réorganisés, ou sont libérés par minéralisation (dans cet essai, l'urée ne s'est pas transformée, en 24 heures, en nitrates).

Pour les bases, la possibilité existe d'être absorbées sur le complexe de l'ensemble du profil. Ces lysimètres n'ayant pas reçu d'engrais depuis plus de trois ans, il est très probable que l'adsorption sur le complexe très désaturé a agi davantage que le drainage. La lixiviation ne devient importante que lorsque la fertilisation a élevé le taux de saturation à un certain niveau, c'est le cas pour les lysimètres recevant de fortes doses d'engrais depuis plusieurs années (cf. pp. 119-122).

Ce type d'expérimentation devrait être mené par conséquent, au cours d'un cycle et sur des sols cultivés depuis longtemps. Cet essai souligne l'intérêt de poursuivre les études lysimétriques sur plusieurs années.

Les divers résultats précédents concernant les restitutions et les pertes par lixiviation, nous amènent à émettre certaines hypothèses concernant la dynamique des éléments dans le sol. Elles ne pourront être vérifiées qu'après analyse des sols à la fin du dernier cycle.

1) L'azote :

Les apports sont très importants : 555 kg/ha/ cycle en engrais minéraux, 220 kg/ha/cycle fournis par les résidus. Sur ces 775 kg/ha, environ 270 kg/ha sont immobilisés dans les fruits, les tiges et les feuilles. Près de 500 kg/ha restent donc dans le sol. Le drainage sur 150 cm provoque des pertes d'environ 90 kg/ha (de 62 kg/ha à 125 kg/ha pour les trois traitements). Le gain dans le sol est d'environ 410 kg/ha, soit pour les 20 premiers centimètres une augmentation de teneur de $0,17 \cdot 10^{-3}$. Notons que ces chiffres sont très proches de ceux obtenus sur les essais en pots ($0,16 \cdot 10^{-3}$ en moyenne pour les trois traitements, cf. figure N° 67), au cours desquels il n'y a pas eu d'apport d'engrais minéraux.

La quantité d'azote total présent dans les 20 premiers centimètres semble ne pas dépasser un maxima, (0,6‰), malgré les apports massifs de matière organique. La minéralisation rapide libère des quantités importantes de nitrates qui doivent être absorbés aussitôt par les racines pour ne pas être entraînés par le drainage important, surtout en saison des pluies (cf. figure N° 68).

2) Le phosphore :

Les apports de P₂₀₅ s'élèvent à 330 kg/ha/cycle (238 kg/ha sous forme d'engrais minéral et 92 kg/ha restitués par les résidus). 110 kg/ha sont immobilisés par la plante. Le gain pour le sol est d'environ 220 kg/ha, soit presque le montant par cycle des apports minéraux. On pourrait donc envisager l'apport des phosphates comme engrais de fond, un cycle sur deux seulement. Les essais en pots montrent cependant (figure N° 71) que la quasi-totalité des gains dus aux restitutions disparaissent des 20 premiers centimètres sous l'effet du drainage. Les quantités insignifiantes de phosphates lixiviées sur 1,50 m ne reflèteraient donc pas la dynamique du phosphore dans la zone d'activité racinaire.

3) Les bases :

Les restitutions par les résidus représentent 246 kiloéquivalents/ha/cycle (1 kéq = 10^6 méq) alors que les engrais minéraux apportent 624 kéq/ha/cycle, soit un total de 870 kéq/kg/cycle pour l'ensemble des trois bases : Ca, Mg et K. Les plantes immobilisent 288 kéq/ha. Il en résulte un gain de 582 kéq/ha pour le sol. Pour se maintenir le plus longtemps possible dans les horizons superficiels, ces bases échangeables doivent se fixer sur le complexe absorbant. Il est donc nécessaire d'estimer les quantités maximales de cations qui peuvent bénéficier de cette protection relative vis à vis du drainage. Pour cela nous utiliserons les valeurs des capacités d'échanges déterminées sur les différents horizons avant les essais : cf. tableau N° 36 :

Tableau N° 36 : Estimation de la capacité d'échange totale à l'hectare.

| Horizon profondeur (cm) | densité apparente* | Capacité d'échange ^o (mé/100 g) | Capacité d'échange à l'hectare kéq/ha |
|-------------------------------|--------------------|--|---|
| 0-20 | 1,20 | 0,45 | 108 |
| 20-40 | 1,25 | 0,36 | 90 |
| 40-60 | 1,30 | 0,40 | 104 |
| 60-100 | 1,40 | 0,45 | 252 |
| 100-150 | 1,50 | 0,45 | 338 |
| | | | Somme = 892 |

* estimations

^o moyennes de 12 répétitions.

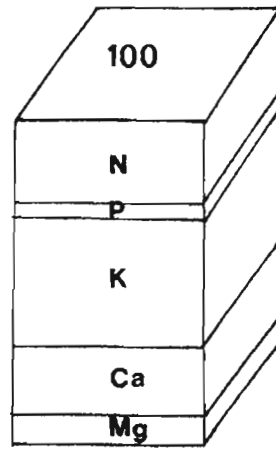
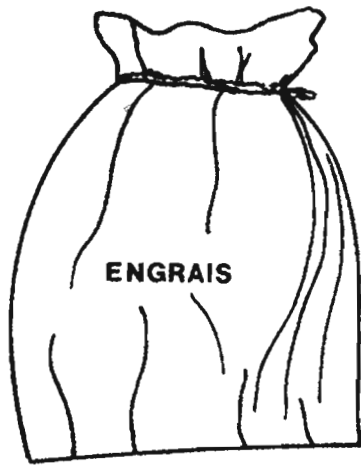
. Sur les 20 premiers centimètres : les gains (582 kéq/ha) (apport-immobilisations) sont bien supérieurs à la capacité d'échange totale (108 kéq/ha). Les bases appartiennent donc principalement à la solution du sol. De ce fait, elles s'accumulent en saison sèche, pour être entraînées vers les horizons sous-jacents pendant la saison des pluies (figure N° 72). De plus, il est très probable, que le drainage en diminuant les teneurs des solutions, provoque une accentuation de la désaturation du complexe.

. Sur les horizons 20-150 cm : les quantités lixiviées du premier horizon représentent au minimum 474 kéq/ha (plus de la moitié des apports sont ainsi entraînés en dehors de la zone racinaire). Or la capacité d'échange des horizons compris entre 20 cm et 150 cm représente 784 kéq/ha et pourrait donc permettre l'absorption sur le complexe de toutes ces bases. Près du tiers se retrouvent pourtant entraînées jusqu'à 150 cm (148 kéq/ha). Cette lixiviation est due à la présence d'ions hydronium sur le complexe, et donc à l'acidité du sol. Les cations métalliques ne constituent en effet qu'une partie de la capacité d'échange. Avant les essais le rapport S/T n'était que de 14% pour l'horizon 0-20 cm, et légèrement inférieur pour les autres horizons (10-12%). L'apport massif de bases ne suffit pas à élever suffisamment le taux de saturation du complexe pour limiter totalement les pertes par lixiviation.

Ainsi les pertes en bases sont très importantes dans la zone prospectée par les racines d'ananas. 52% des apports minéraux ; 37% des apports totaux arrivent cependant à se fixer sur le complexe absorbant des horizons compris entre 20 et 150 cm et à échapper au moins momentanément aux pertes par lixiviation.

II.2.6. Remarques sur l'économie des éléments fertilisants :

La figure N° 82 résume les principaux résultats. Nous avons reporté toutes les quantités en % d'engrais minéraux apporté totaux (N, P, K, Ca et Mg). Les résidus (tiges et feuilles) représentent 22% ; les restitutions diffèrent suivant les traitements : 19% pour le brûlis (pertes d'azote par voie gazeuse), 21% pour l'enfouissement et 20% pour le mulch, une partie des éléments (1-2%) n'ayant pas encore été minéralisés à la fin du cycle.

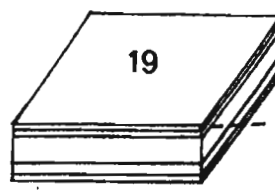


APPORT
PAR
LES ENGRAIS

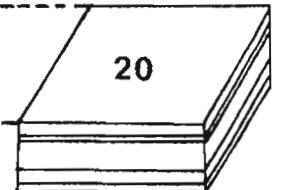
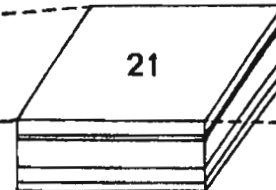
+



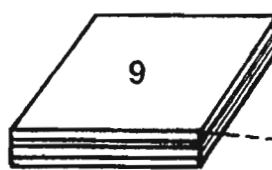
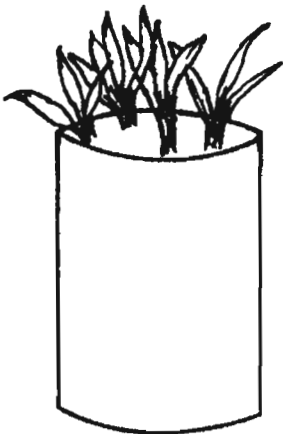
IMMOBILISATION DANS LES
RESIDUS



RESTITUTIONS PAR LES RESIDUS



-



PERTES PAR LIXIVIATION

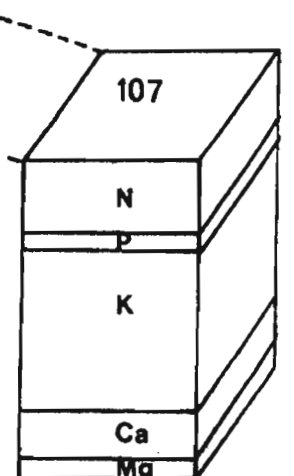
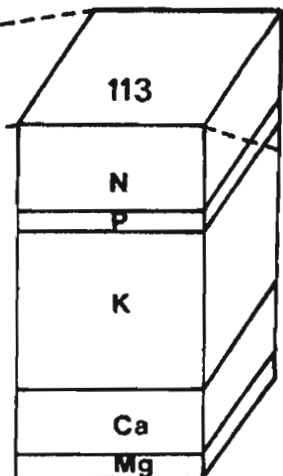
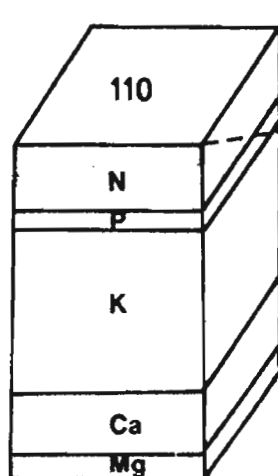
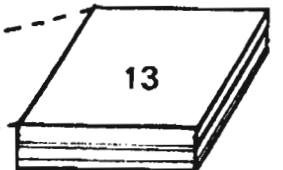
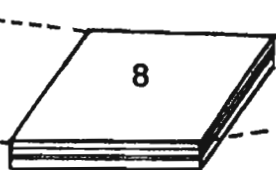


FIG. 82

ENGRAIS + APPORTS DES RESIDUS - PERTES PAR
LIXIVIATION (sur 1.50m)

Les pertes par lixiviation sur 150 cm représentent au deuxième cycle des pourcentages relativement faibles (8-13%). Le mulch en favorisant l'infiltration est le traitement pour lequel les éléments sont le plus entraînés.

Si l'on calcule les quantités disponibles (engrais + restitution - lixiviation), il apparaît certaines différences entre traitements: le mulch semble le moins intéressant. Le brûlis, malgré ses pertes d'azote, se classe juste après l'enfouissement qui permet les économies d'éléments les plus importantes.

Notons cependant que les résultats pris en compte portent sur une profondeur de 150 cm. Les essais en pots font apparaître dans les premiers 20 cm des pertes par lixiviation bien plus élevées, notamment pour les bases, davantage retenues sur le complexe absorbant des horizons sous-jacents. Les analyses effectuées à la fin des essais (3e cycle) permettront de vérifier les hypothèses portant sur la dynamique des éléments au niveau des racines. Pour une expérimentation plus agronomique, il aurait été souhaitable toutefois d'utiliser des lysimètres dont la profondeur correspond à celle de l'enracinement de l'ananas.

II.2.7. Rendements :

Alors que les rendements obtenus sous les trois traitements étaient très semblables au premier cycle (cf. tableau N° 38), d'importantes différences sont apparues au second :

II.2.7.1. Croissance des plants

En fin de saison sèche, il était clair que le développement des plants ne suivrait pas un rythme normal : de nombreux ananas restaient chétifs et portaient des feuilles rouges. En outre, le traitement d'induction floral n'avait pas réussi comme il l'aurait dû. C'est pourquoi, l'IRFA procéda, à cette époque (avril 1977), à des comptages (cf. tableau N° 37).

Tableau N° 37 : Influence du traitement sur la non floraison de l'ananas.

| | Brûlis | Enfouissement | Mulch |
|--|--------|---------------|-------|
| % de plants affectés en moyenne par parcelle 50 m ² | 2 | 17,5 | 39 |
| % de non floraison | 6 | 8,5 | 24,5 |

C'est le mulch qui présente le taux de non floraison le plus important.

II.2.7.2. Production des fruits

Les rendements en fruits ont confirmé les observations réalisées à l'issue de la saison sèche : (cf. tableau N° 38 - données IRFA).

Tableau N° 38 : Rendements en fruits au cours des deux cycles.

| | Premier cycle | | | Deuxième cycle | | |
|----------------------------------|---------------|---------------|-------|----------------|---------------|-------|
| | Brûlis | Enfouissement | Mulch | Brûlis | Enfouissement | Mulch |
| Nombre de fruits pour 800 plants | 570 | 560 | 570 | 595 | 576 | 456 |
| Poids moyen de fruits | 1507 | 1503 | 1516 | 1038 | 831 | 761 |

Il semble que la sécheresse (cf. p.105 et figure N° 56) soit la principale responsable des baisses très importantes de rendements enregistrées au deuxième cycle. Mais certaines techniques ont aggravées les effets climatiques : sur les parcelles n'ayant subi aucun travail du sol (mulch sans billonnage sur les parcelles d'érosion), les rendements ont été les plus faibles : 361 fruits sur 800 plants, poids moyen du fruit : 562 g ! Nous avons observé, avec M. PINON agronome à l'IRFA, des enracinements quasi-inexistants sur ces parcelles.

Ainsi, le non travail du sol associé au mulch ne convient pas lorsque la plantation a lieu en début de saison sèche. Par contre le brûlis en libérant rapidement une masse importante d'éléments fertilisants sans risque majeur de lixiviation en saison sèche, permet une croissance bien meilleure des rejets (cf. tableau N° 37).

Cette situation a probablement été accentuée par la date de traitement d'induction florale, aux premières pluies. Cette période correspond à une forte minéralisation (cf. "vitesses de nitrification" pp.129-133) et à la reprise de croissance. Or des plants affaiblis par une très longue sécheresse (cf. tableau N° 37) ne semblent pas pouvoir opérer simultanément la reprise de croissance et la floraison.

Il apparaît donc de nouveau que le choix des techniques doit tenir compte de la date de plantation (cf. p.113 "érosion").

II.2.8. Mesures annexes :

Nous avons ajouté au protocole initial diverses mesures visant à approfondir certains problèmes (cf. "dynamique de la lixiviation) et à mieux définir les milieux créés par les trois traitements. Comme pour les essais réalisés à Katiola (cf. pp. 44-61), nous avons procédé à une ébauche de caractérisations physiques et biologiques

II.2.8.1. Mesures physiques

a) Résistance à la pénétration

En vue d'estimer les obstacles pouvant s'opposer à la pénétration des racines, nous avons réalisé un profil pénétrométrique par traitement. Les mesures ont été effectuées à l'aide d'un pénétromètre travaillant par chocs (masse 500 g) en saison sèche (février). La figure N° 83 présente les résultats obtenus sur les parcelles billonnées. Alors que les profils sous les traitements brûlis et enfouissement sont très voisins et ne présentent aucune discontinuité sur l'ensemble de la profondeur d'enracinement, le mulch en diffère largement. Une augmentation très nette de la résistance à la pénétration apparaît à partir de 15-20 cm, limite du fond de billon. Ces écarts sont d'autant plus marqués que les horizons superficiels sous mulch devraient être au contraire moins cohérents, étant plus humides que pour les autres traitements (cf. figure N° 84). Mais cet obstacle ne doit pas avoir de répercussion majeure sur l'enracinement puisque la plus forte densité racinaire se localise dans le billon (0-20 cm) pour les trois traitements. Pour ne pas troubler les mesures d'érosion, aucun profil n'a été réalisé sur les cases n'ayant subi aucun travail du sol (mulch sans billonnage). Les observations sur l'enracinement (cf. p.127) indiquent cependant que la cohésion du sol doit être élevée dès la surface.

b) Profils hydriques

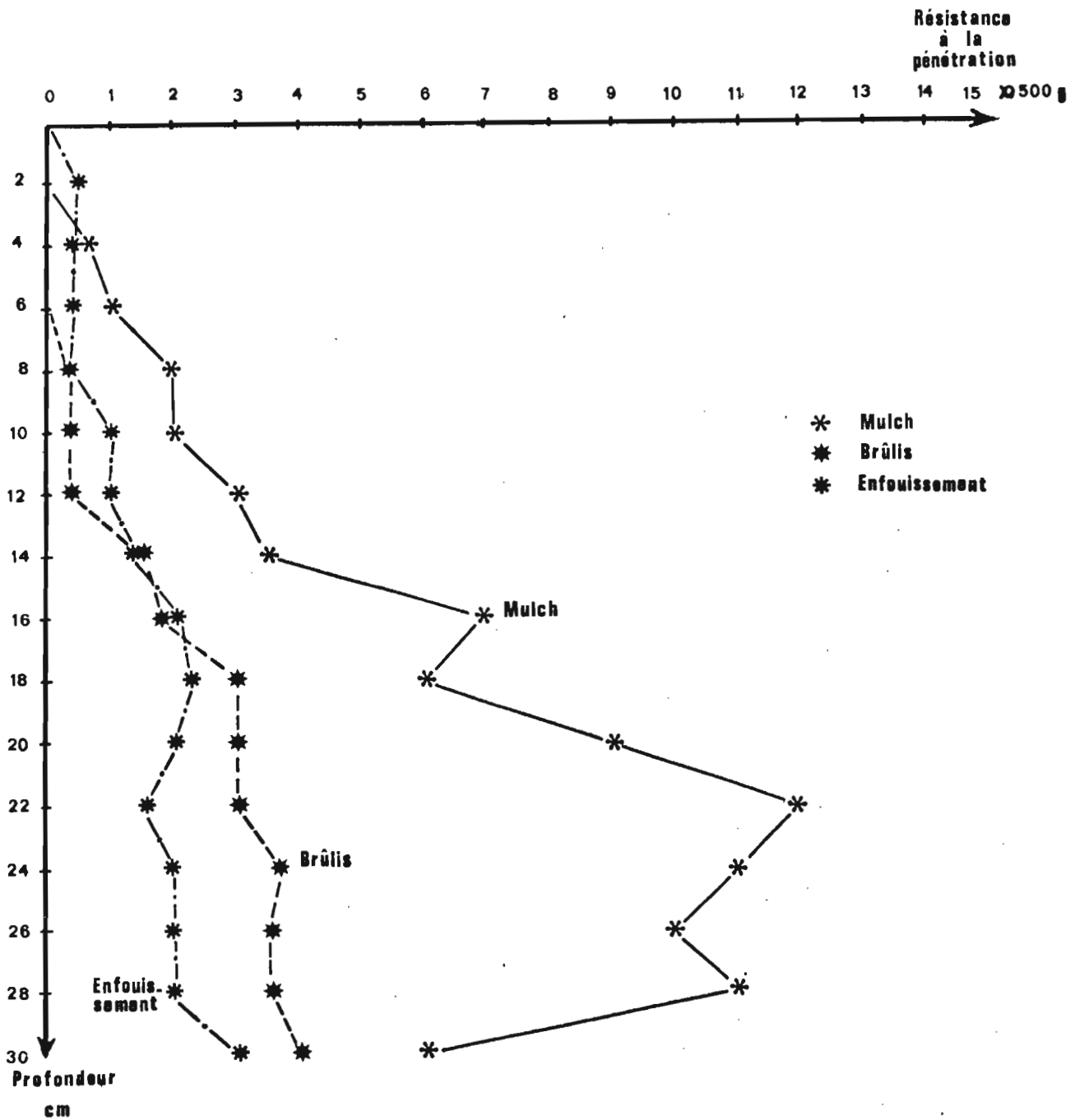
Afin de vérifier l'influence du mulch sur l'économie de l'eau, nous avons effectué des sondages à la tarière et déterminer les humidités pondérales des horizons 0-10, 10-25 et sous le billon : 25-45 cm. Opérant en plusieurs saisons il est possible d'estimer les influences de chaque traitement au cours du cycle (figure N° 84). Le brûlis et l'enfouissement présentent des profils très voisins. Le mulch limite l'ETR et favorise ainsi le maintien d'une humidité plus élevée même en saison sèche (janvier ; cf. figure N° 56). Cet écart correspond sur 45 cm à une réserve supplémentaire de 20 mm. L'action du mulch diminue en fonction de son humification et de sa minéralisation. Elle est maximale lorsque les résidus couvrent la quasi-totalité de la surface (novembre 77 début du 3e cycle). Il est à noter que l'influence se fait sentir, sur ces sols, sur une profondeur assez importante (au moins 45 cm) alors que LAL (1975) considère qu'elle devient nulle à partir de 30 cm (apparition d'un horizon gravillonnaire). Nous avons souligné (cf. p.119) que cette diminution de l'évapotranspiration réelle présentait dans le cas de l'ananas certains inconvénients : elles ralentit les mouvements ascendants d'eau non saturante, et limite ainsi les remontées au niveau des racines. Il est probable de plus, que ce phénomène soit responsable, au moins en partie, du drainage important enregistré sous ce traitement.

c) Température du sol

La deuxième composante de climat est la température du sol. Nous avons voulu étudier l'influence du mulch sur les amplitudes thermiques enregistrées dans le sol. Pour cela nous relevons quotidiennement les températures minimales et maximales à l'intérieur du billon, à 10 cm de profondeur (deux répétitions par traitement). La figure n° 85 présente les variations des moyennes hebdomadaires.

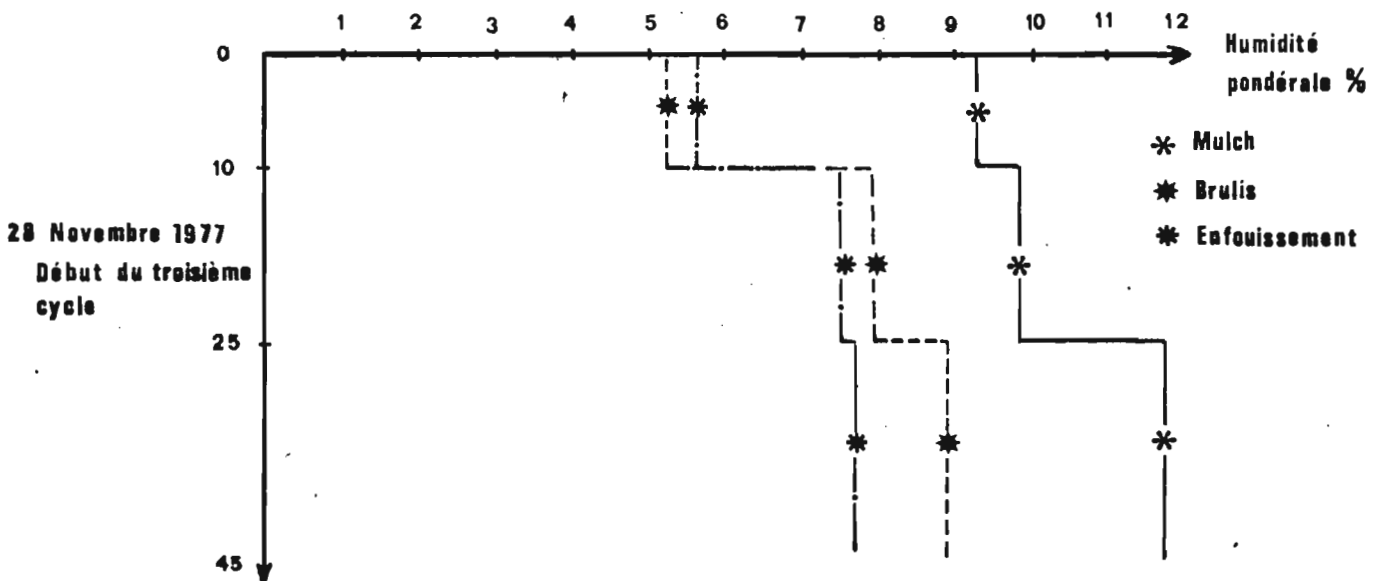
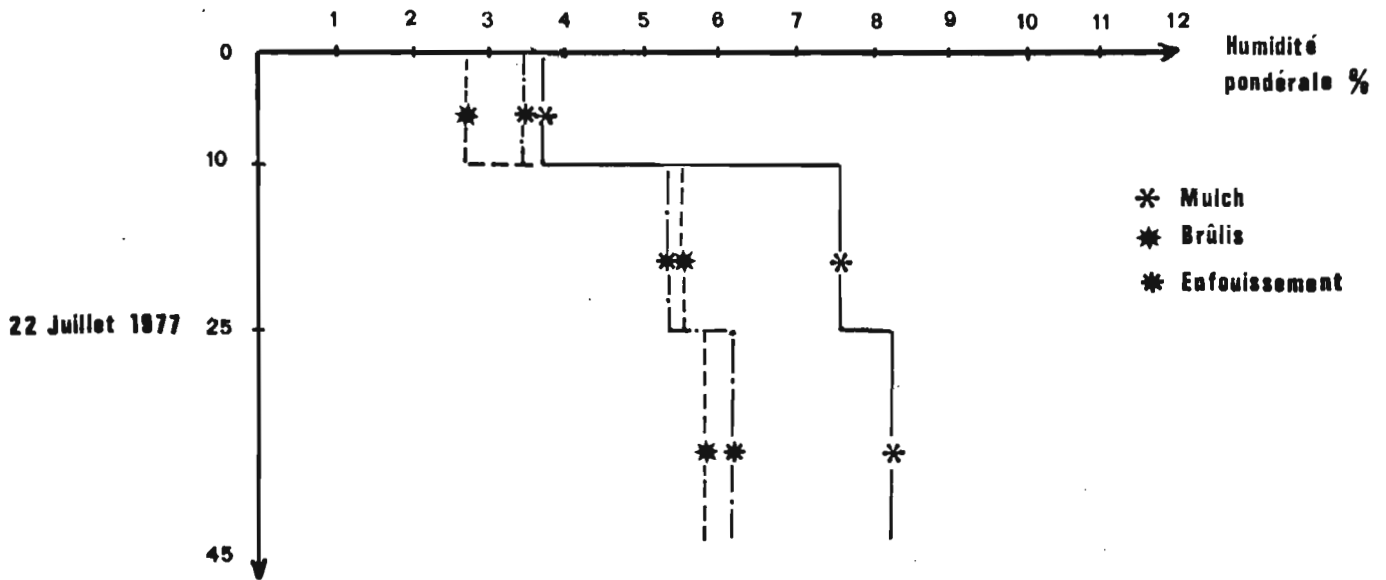
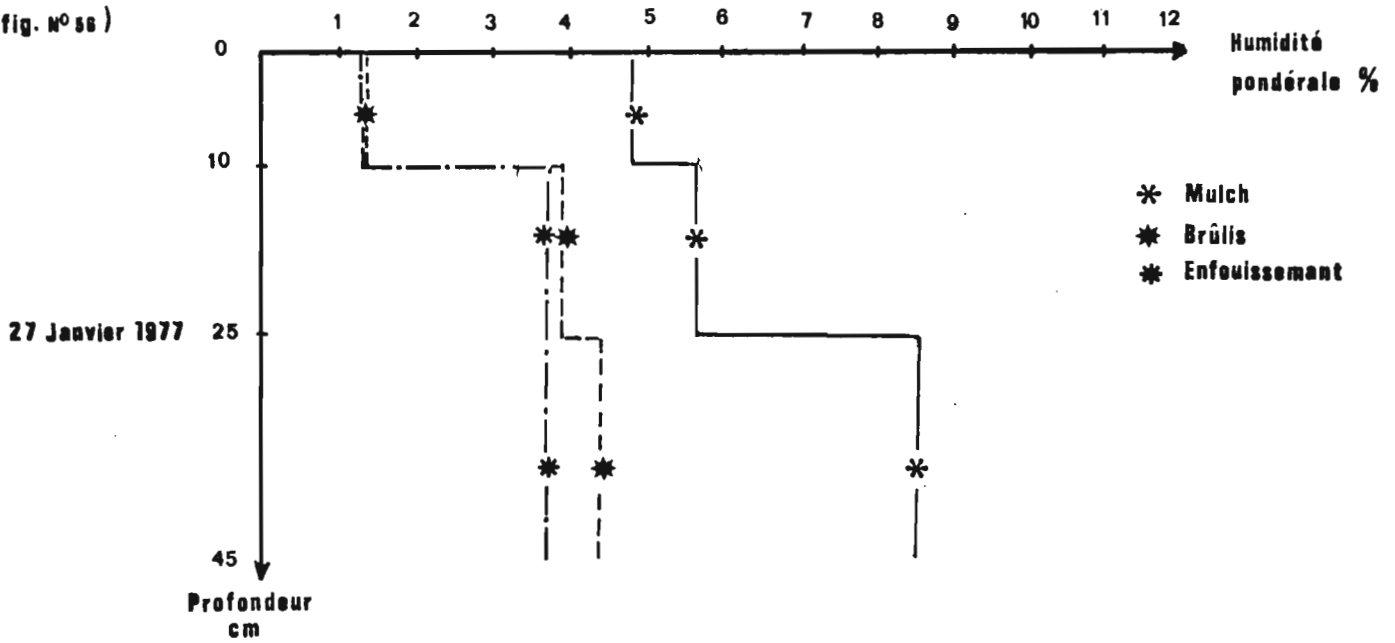
FIG. 83 PROFILS PENETROMETRIQUES DES SOLS SOUMIS AUX TROIS TRAITEMENTS

(MEDIANE DE CINQ REPETITIONS)

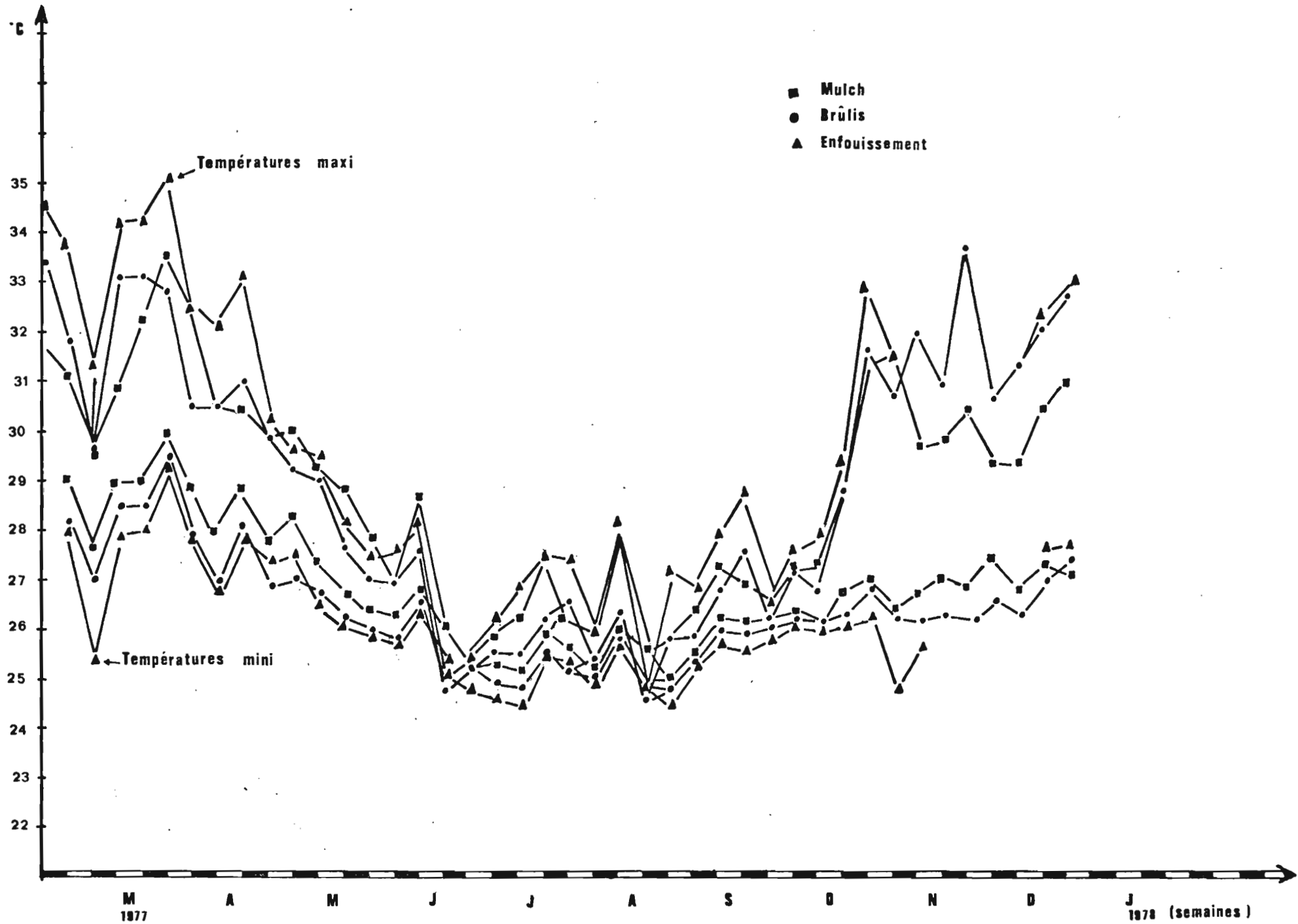


(MOYENNE DE SIX REPETITIONS)

Date:
(cf fig. n° 88)



(PROFONDEUR 10 CM)



Les mesures sont toujours en cours ; nous n'avons pas encore dépouillé les résultats d'une manière approfondie. Il apparaît cependant que les amplitudes thermiques sont plus faibles sous le mulch que sous les autres traitements. C'est pour l'enfouissement que les écarts les plus importants sont enregistrés (25-35°C). Cette action du mulch semble aisée à interpréter : les 10 premiers centimètres sont en fait constitués de deux horizons : le premier est composé des résidus végétaux dont la conductivité thermique (λ) est bien inférieure à celle de l'horizon minéral sous-jacent. Ces résultats semblent confirmer les résultats obtenus par LAL (1975) sous maïs. Ces légères variations d'amplitudes thermiques peuvent avoir des conséquences sur certaines populations micro et de la mésofaune (cf. BACHELIER, 1963). Au dessus de 30°C MOUREAUX (1967) observe en outre une diminution du pouvoir nitrificateur.

II.2.8.2. Mesures biologiques

a) La macrofaune

Les observations menées par l'IRFA sur les parcelles n'ont pas révélé la présence de symphiles (myriapodes parasites).

b) La mésofaune

L'apport massif de 25 tonnes de matière sèches/ha ne doit pas resté sans effet sur les populations du sol (modification du pédoclimat, apport de matières organiques). Nous avons voulu mettre en évidence l'action éventuelle des traitements sur les microarthropodes, en évaluant notamment le rapport acariens/collembolés, comme l'avait fait MALDAGUE au Congo (cité par BACHELIER 1963). Nous avons suivi pour cela la méthode d'extraction présentée par BACHELIER (1973). Deux séries de mesures ont été entreprises : une en saison sèche, l'autre en saison des pluies. Nous n'avons, en aucun cas, observé la présence de micro-arthropodes. Il serait possible, qu'étant données les quantités importantes de produits phytosanitaires apportés sur les parcelles, les populations de microarthropodes soient très réduites. Mais les extractions réalisées par Mme AKODO sous une forêt secondarisée (Adiopodoumé) ont donné les mêmes résultats. D'autres essais s'avèrent donc nécessaires pour vérifier l'inexistence de la mésofaune sous ces parcelles ou pour adapter au mieux la technique utilisée.

c) La microfaune

Les nématodes n'ont, jusqu'ici, causé aucun dégât, pour les trois traitements. (apport de némagon à la plantation et de granulés de némacur 4 mois après).

d) La microflore

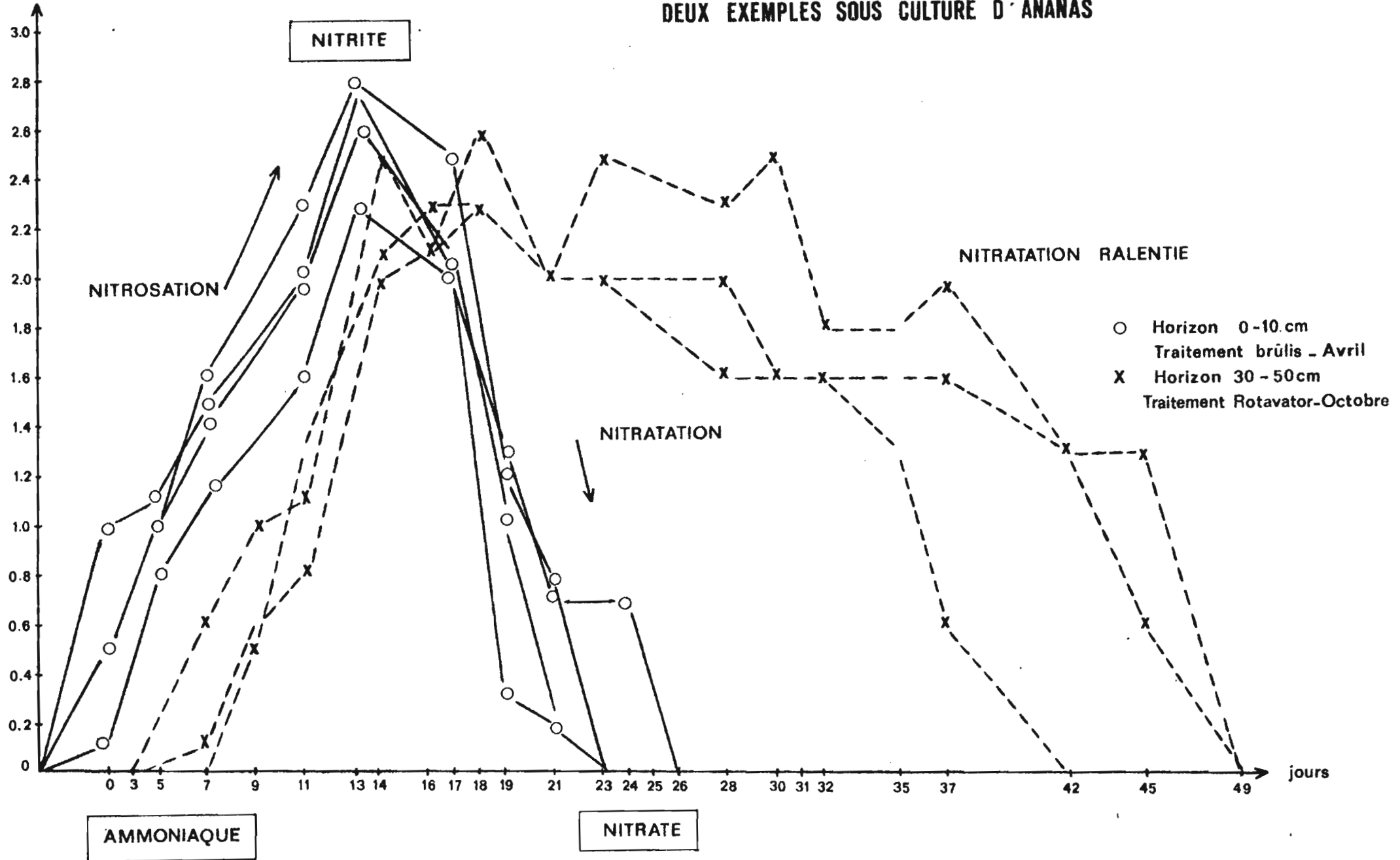
1) Champignons

Les agronomes ont signalé l'infestation importante des parcelles de la SALCI pour le *Phytophthora* sp. causant des baisses importantes de rendements sur les essais de travail localisé du sol (passage d'un couteau) et de mulch. Les plants des parcelles d'Adiopodoumé sont pour l'instant indemnes selon les observations de l'IRFA, y compris pour le traitement mulch.

Echelle des nitrites

FIG. N° 75

TEST DE NITRIFICATION EN MILIEU LIQUIDE DEUX EXEMPLES SOUS CULTURE D'ANANAS



2) Bactéries

Nous nous sommes intéressé aux bactéries nitrificatrices pour deux raisons : d'une part il est intéressant d'estimer les vitesses de nitrification et leurs variations saisonnières pour déterminer les périodes durant lesquelles les risques de lixiviation d'azote minéral sont les plus élevés ; d'autre part les vitesses de nitrification peuvent être bien corrélées aux conditions de milieu (aération, tassement etc...) et peuvent ainsi être utilisées pour tester les divers traitements.

La méthode suivie est présentée en annexe ; elle repose sur les vitesses d'apparition des nitrites (nitrosation) et de leur disparition (nitratation). Nous avons déjà présenté la technique de dépouillement (cf. p.58). La figure N° 75 illustre deux exemples de vitesses de nitrification mesurées sur deux échantillons caractéristiques.

Les essais ont principalement porté sur les parcelles d'Adiopodoumé et, à la demande des agronomes de l'ORSTOM, sur les plantations de la SALCI (Ono).

11. Adiopodoumé :

Nous présentons ici les résultats portant sur les indices de vitesses de nitrification I_{vn} (cf. p.58) mesurées sous les trois traitements et sous témoins forestiers (deux horizons 0-10 et 10-20 cm) Les figures 76 et 77 indiquent les variations saisonnières. L'interprétation repose sur les évolutions des fractions organiques définies par FELLER (1976) : matières végétales fraîches (fraction supérieure à 2 mm) : ML1 fraction inférieure à 2 mm : ML2 et matières humifiées: FL.

111. Forêt et enfouissement :

a) horizon 0-10 cm : le comportement de l'horizon superficiel du traitement "enfouissement des résidus" est identique à celui situé sous forêt. Cette similitude est probablement due dans les deux cas à une forte proportion de ML2 : pour l'horizon travaillé, à cause de l'enfouissement ; sous forêt, par incorporation biologique (FELLER -à communication orale). Dans les deux cas on observe une activité ralentie pendant la longue et la petite saison sèche. La nitrification atteint un maximum (pic de minéralisation) au cours des premières pluies, cette augmentation est moins marquée au début de la petite saison des pluies.

b) Horizon 10-20cm : dans l'horizon sous-jacent les vitesses de nitrification diffèrent : pour l'enfouissement il existe un certain parallélisme avec la dynamique de l'horizon 0-10 cm ; après la saison des pluies cet horizon semble bénéficier de l'apport d'éléments lixiviés de l'horizon superficiel. Le pic de nitrification n'apparaît pas sous forêt. Les premières pluies entraînent peut-être des composés organiques inhibiteurs de la nitrification de la surface vers cet horizon. Les fortes pluies suivantes favoriseraient le départ de ces substances vers les horizons sous-jacents et amèneraient les vitesses de nitrification à un niveau proche de celui de l'enfouissement.

EVOLUTION SAISONNIERE DES VITESSES DE NITRIFICATION

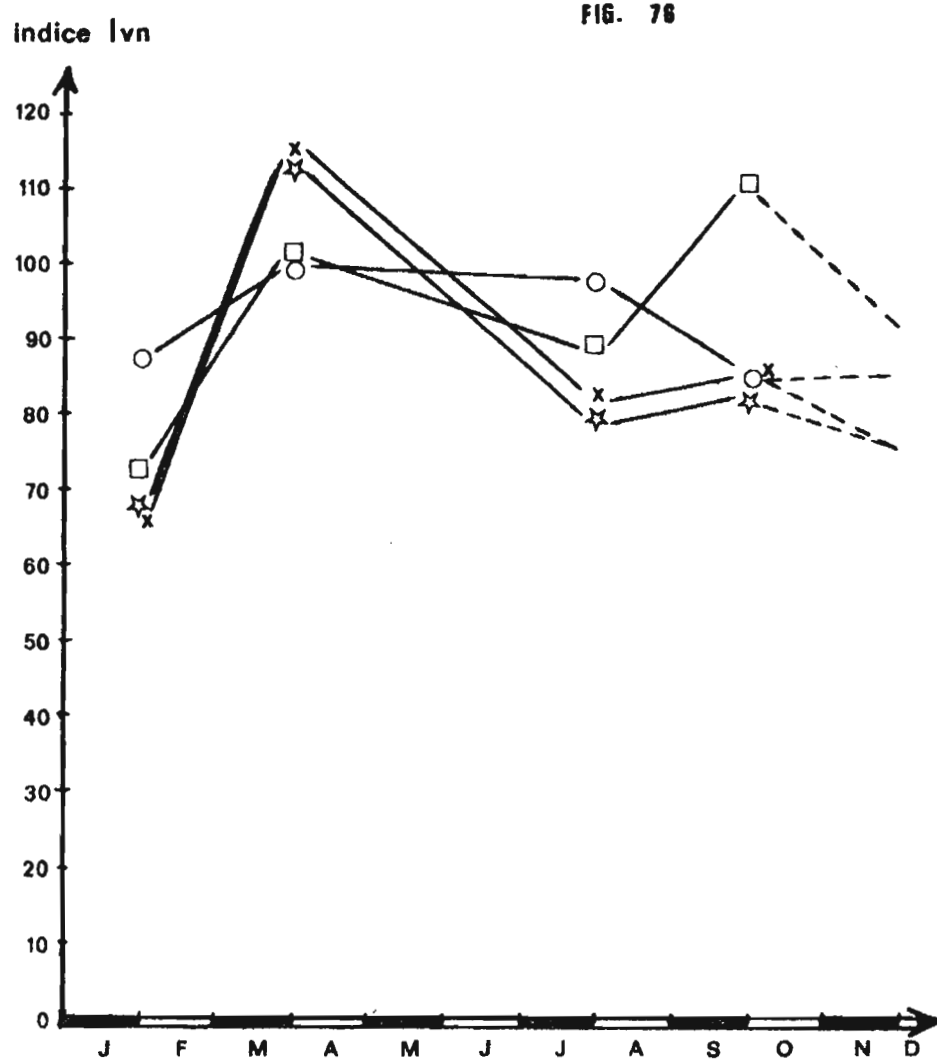


FIG. : Horizons 0-10 cm

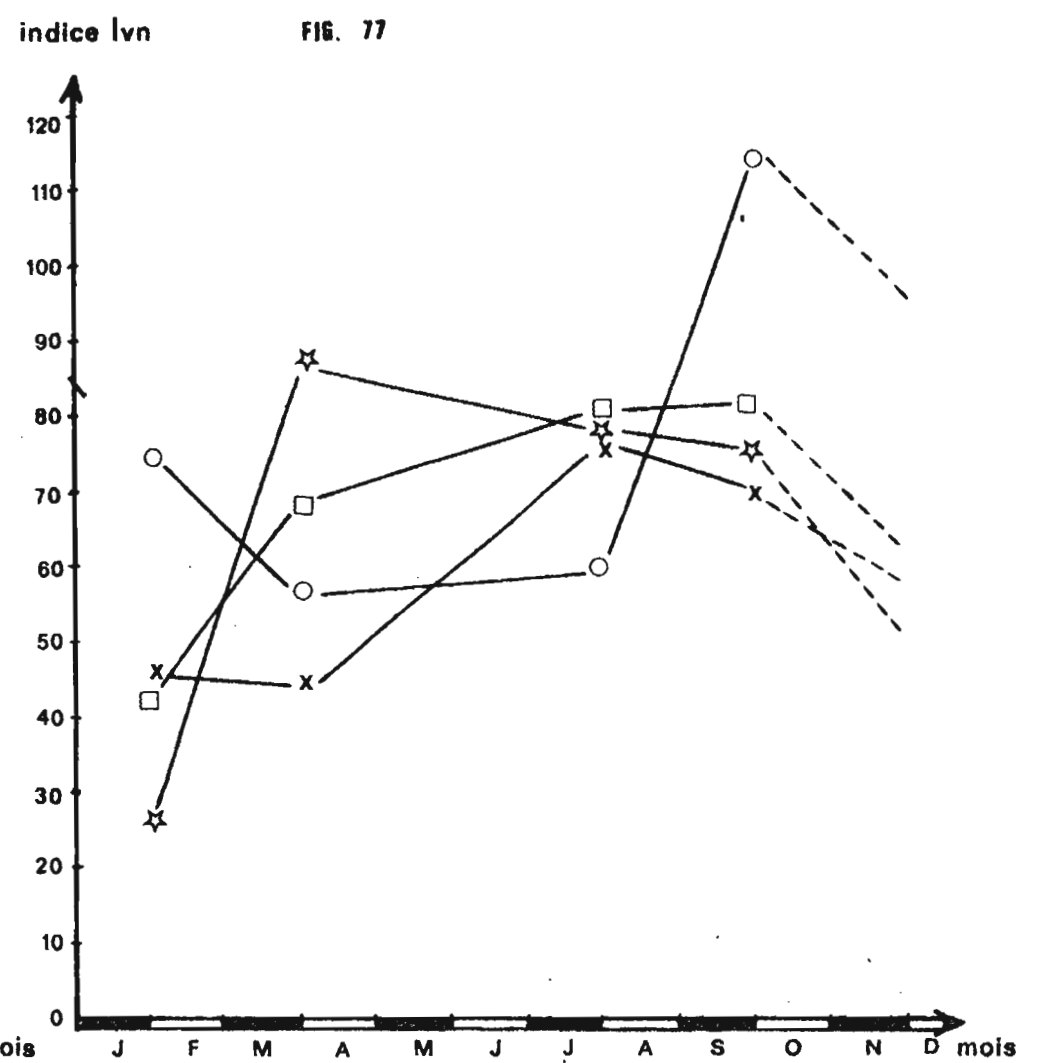


FIG. : Horizons 10-20 cm

- Brûlis
- ☆ Enfouissement
- Mulch
- x Témoin forestier

112. Brûlis :

a) Horizon 0-10 cm : en saison sèche la vitesse de nitrification de l'horizon superficiel est supérieure à celle des autres traitements. Ce résultat peut-être comparé à l'évolution rapide de la matière sèche (figure N° 60) et à la libération de quantités importantes d'éléments minéraux. Le pic de nitrification est par contre moins marqué pour le brûlis que pour les autres traitements, son stock de matières organiques (ML1 et ML2) est en effet bien inférieur à celui de l'enfouissement. La lixiviation semble responsable du ralentissement de la nitrification en petite saison des pluies.

b) Horizon 10-20 cm : cet horizon reçoit très peu de matières légères (ML1 et ML2), susceptibles de nitrifier très rapidement en début de saison des pluies. Par contre l'apport de matières organiques provenant de l'horizon superficiel (cf. figure N° 76) favorise la nitrification pendant la petite saison des pluies.

113. Mulch :

a) Horizon 0-10 cm : en saison sèche la nitrification est très ralentie, comme pour les autres traitements. Le pic de minéralisation n'est pas très marqué car l'incorporation au sol des éléments issus du mulch est lente (cf. figure N° 61). La vitesse de nitrification augmente au fur et à mesure de l'évolution du mulch.

b) Horizon 10-20 cm : l'évolution de la nitrification suit l'augmentation progressive des teneurs en N-total (cf. figure N° 67).

De cette étude il ressort que les vitesses de nitrification dépendent de plusieurs facteurs. Elles sont plus rapides dans les horizons superficiels 0-10 que dans les horizons directement sous-jacents, elle semble dépendre davantage du type de matière organique (essentiellement ML1 et ML2) que de la teneur globale (sur 40 échantillons nous n'avons établi aucune corrélation entre les pourcentages de matières organiques et les vitesses de nitrification). Ainsi la vitesse de nitrification serait très rapide pour les matières fraîches et ralentirait par la suite.

Les saisons entraînent des variations importantes. La vitesse de nitrification dépend de l'humidité du sol, les premières pluies provoquent une évolution très rapide des matières organiques libérant ainsi des quantités importantes de nitrates.

L'entraînement des éléments par lixiviation paraît intervenir également. C'est pourquoi, il est très probable que la richesse minérale du milieu détermine, au moins en partie les vitesses de nitrification. L'apport notamment de bases lixiviées élèverait le pH des horizons 10-20, favorisant ainsi la nitrification (et donc les risques de perte d'azote par entraînement des nitrates dans les eaux de drainage).

12. Ono (SALCI) :

De nombreux prélèvements ont été réalisés sur les trois traitements testés par les agronomes de l'ORSTOM, à Ono : (HAINNAUX et de RICAUD 1977)

- "rotavator 5-10" : travail minimum du sol :
 - rotobroyage des résidus de la culture précédente suivi du passage de deux coutres sur l'ancien billon
- "rotavator 10-20" : travail superficiel :
 - passage sur le billon d'un rotavator travaillant sur 25 cm.
- "labour-billonnage" travail profond :
 - enfouissement partiel au rotavator
 - labour sur 40 cm
 - billonnage.

Les deux premiers traitements sont très proches du "mulch" et de l'"enfouissement". Nous appellerons le troisième "labour".

Nous avons procédé à de nombreuses déterminations de vitesses de nitrification ; quelques une seulement ont pu être dépouillées. Le tableau N° 39 présente les indices de vitesses de nitrification (Ivn) pour les trois traitements et divers horizons en début et en fin de cycle.

Tableau N° 39 : Indices de vitesses de nitrification sous trois types de cultures d'ananas.

| | Mulch | | Enfouissement | | Labour | |
|-----------------------------|-------|-----|---------------|-----|--------|-----|
| | début | fin | début | fin | début | fin |
| Horizon du billon | 80 | 120 | 105 | 90 | 90 | 90 |
| Entre le billon et 40 cm | 75 | 110 | 110 | 110 | 70 | 90 |
| Sous 40 cm | 60 | - | 85 | 165 | 65 | 90 |

Les écarts entre traitements sont relativement faibles. Il est cependant possible de souligner quelques différences : comme pour le mulch étudié à Adiopodoumé, celui-ci provoque une augmentation de la vitesse de nitrification au fur et à mesure de son évolution (plus important en fin de cycle qu'au début). L'incorporation d'une masse importante de matières organiques fraîches sur une faible profondeur (rotavator 20-25 cm) favorise une nitrification rapide sur les deux premiers horizons enrichis. La discontinuité causée par le passage du rotavator ne suffit pas à limiter totalement

l'entraînement des éléments en profondeur. Le labour, en homogénéisant le profil ne semble pas établir des conditions optimales de nitrification : en favorisant l'infiltration (van AGTHOVEN ; 1977) il accentue probablement la lixiviation des bases. Il est évident de plus que la nitrification ne peut pas être assurée aussi bien sur 40 cm que dans les premiers 25 cm. L'aération moins bonne en profondeur doit provoquer une diminution importante de la densité des germes aérobies.

En vue de vérifier l'influence de la présence d'oxygène sur la nitrification, nous avons déterminé l'Ivn d'un horizon tassé et réduit (35-40 cm), observé par M. de RICAUD sur des parcelles récemment défrichées. Il est de 36 contre 100 en surface (9 répétitions).

Les essais réalisés sur les parcelles soulignent par conséquent, en plus des facteurs mis en évidence à Adiopodoumé, l'influence de l'aération sur les vitesses de nitrification.

Il est nécessaire d'ajouter que le pouvoir nitrificateur des sols est un test intéressant pour apprécier les conditions de milieu. Dans la plupart des cas une nitrification rapide indique une certaine aptitude à la mise en valeur (MOUREAUX 1973). Sur ce type de sol, très filtrant, et pour ce climat humide et chaud, les agronomes ont tout intérêt à limiter au contraire les vitesses de nitrification. En effet la minéralisation de la matière organique et des engrais (urée) est souvent plus rapide (surtout en début de saison des pluies) que l'absorption racinaire. Une nitrification rapide est ainsi responsable de pertes importantes d'azote nitrique par lixiviation. On peut également imputer l'acidification des sols à une nitrification trop rapide : d'une part le processus biochimique lui-même favorise l'abaissement du pH, d'autre part les anions NO_3^{2-} entraînent les cations (bases échangeables) dans les eaux de drainage. (cf. GANRY 1977). Des recherches devraient être entreprises en vue de sélectionner des "engrais-retard" (de l'urée associée à d'inhibiteurs légers par exemple ?), qu'il serait très intéressant d'utiliser en fin de saison sèche.

Les différentes expérimentations exposées ici présentent un intérêt scientifique et doivent donner lieu à certains approfondissements. Il est nécessaire néanmoins de fournir dès maintenant aux praticiens un certain nombre d'éléments pouvant les guider dans le choix de certaines techniques culturales.

CHAPITRE III : INTERPRETATIONS AGRONOMIQUES

Dans la région sédimentaire de Côte d'Ivoire, le rôle du pédologue n'est plus d'établir l'inventaire des sols en vue de leur mise en valeur, mais de s'associer aux agronomes pour veiller à leur exploitation harmonieuse. Au terme de cette étude portant sur la conservation des sols et l'économie des éléments fertilisants sous ananas, il est nécessaire de présenter une synthèse des différentes données descriptives et expérimentales.

III.1. Conservation des sols

Au vu des résultats obtenus, il est possible de proposer certains éléments de réponses aux questions posées par les dirigeants de la Société Coopérative Agricole de Bonoua (SOCABO) et de la Société des Ananas de la Côte d'Ivoire (SALCI).

III.1.1. Sur les parcelles de la SOCABO :

Les problèmes d'érosion qui se posent à la SOCABO correspondent à deux études menées expérimentalement sous pluies simulées :

III.1.1.1. La longueur de pente :

Les distances entre les andains séparant les parcelles récemment défrichées est de 150 m. Or cette distance, pour les anciennes parcelles atteint à peine 100 m. On aurait pu rendre cet allongement des parcelles (toutes en courbes de niveau), responsable des dégâts importants observés lors de la saison des pluies. Mais il semble qu'il faille minimiser cet effet ; ils ne provoquent d'après les expérimentations exposées précédemment (cf. pp.) qu'une augmentation de 13% des pertes en terre. Le confectionnement des andains, par contre, nous apparaît comme le facteur le plus déterminant.

III.1.1.2. Les bandes d'arrêt :

Les andains sont constitués, pour ces nouvelles parcelles, uniquement des arbres abattus. Il n'offre au ruissellement qu'un obstacle horizontal très peu efficace, voir néfaste.

Les troncs ne sont jamais rigoureusement rectilignes et horizontaux. L'eau de ruissellement se butte contre ces obstacles, creuse des ravines en s'écoulant vers les points bas et passe finalement sous les troncs. La ravine formée se prolonge et s'approfondit dans la parcelle en aval. Il n'en n'est pas de même pour les anciennes parcelles : les andains y ont été plantés de cultures diverses (bananes, manioc). Le ruissellement rencontre en plus, dans ce cas, un obstacle vertical. La présence de tiges favorise l'infiltration de l'eau provenant de l'amont ("effet hétérogénéité de surface" cf. p.95). L'andain joue dans ce cas son rôle de bandes d'arrêt avec efficacité.

Par conséquent, il semble davantage nécessaire de veiller à l'enherbement des nouveaux andains que de chercher à diminuer les largeurs de parcelles ce qui les rendrait ainsi peu pratiques pour la mécanisation.

III.1.2. Sur les parcelles de la SALCI :

Le problème majeur posé à la SALCI pour la conservation des sols est la topographie. Nulle part ailleurs au monde (PY, communication orale), une plantation industrielle d'ananas ne s'est implantée sur des pentes aussi fortes (jusqu'à 26%). Un nombre élevé de ses parcelles appartient à l'unité "matériaux argilo-sableux situés dans un paysage à forte pente ($p > 8\%$)" de la carte pédologique du bassin sédimentaire ivoirien (ROOSE et CHEROUX - 1966). Depuis sa création, il y a environ 30 ans, cette plantation très importante (bientôt 1500 ha), a toujours connu de graves problèmes d'érosion. Ceux-ci entraînent non seulement des pertes en plants (3-5% ?), mais aussi des retards dans les travaux, voire des dégâts pour le matériel agricole.

De nombreuses techniques ont été utilisées pour limiter l'érosion. Certaines sont maintenues : culture en courbes isohypses et en bandes alternées, billonnage. D'autres ont dû être abandonnées. Il s'agit, par exemple, de l'enherbement des routes en *Cynodon*, Rich. Cette graminée assure une excellente protection du sol grâce à ses stolons ; mais ceux-ci facilitent, ainsi que les rhizomes de la dissémination de cette plante de couverture hors des pistes. Il s'avéra vite très difficile de maîtriser convenablement cet enherbement.

Des drains enherbés furent creusés sur certains versants mais cette technique en ralentissant le ruissellement entraîne la formation d'un bourrelet sableux central ; celui-ci favorise le débordement du drain et la formation de deux nouvelles ravines latérales. Le reprofilage des routes à contre pente n'apparaît pas non plus souhaitable ; celui-ci provoque l'accumulation d'eau dans les points bas, gêne ainsi la circulation et provoque souvent la formation de ravines très profondes.

En vue de proposer des solutions nouvelles, certaines observations ont été réalisées sur quelques parcelles :

- il existe une érosion à l'échelle du plant : la faible couverture du sol en début de cycle (cf. p.107) provoque des déchaussements lorsque la saison des pluies survient à cette époque.
- les premières griffes d'érosion apparaissent sur les sommets (pentes $< 1\%$). Il suffit en effet que quelques billons ne soient pas rigoureusement isohypses pour que l'érosion se déclenche et s'amplifie en aval, passant ainsi de griffes à des ravines de plus en plus profondes. Contrairement aux observations antérieures, il semble donc que les routes ne soient pas les seules responsables de l'érosion qui proviendrait également des parcelles.

Plusieurs types de solutions sont à envisager :

- on pourrait, en un premier temps, suivre l'évolution de deux systèmes griffes-ravines. Sur l'un, quelques travaux très simples seraient réalisés en tête de versant : comblement des griffes existantes, correction des tracés de billons. Sur l'autre, aucun aménagement particulier serait effectué
- si cet essai démontre l'efficacité de ce premier type d'intervention, il serait souhaitable alors de le généraliser à l'ensemble de la plantation. L'attention serait donc attirée sur l'intérêt de réaliser rapidement des travaux rudimentaires sur les sommets. Cette protection des hauts de versants pourraient être accentuée par la construction de diguettes distantes d'une dizaine de mètres et perpendiculaires aux interlignes. Un appareil très simple les confectionne automatiquement au Kenya (PY, communication orale).
- si ces techniques simples ne suffisent pas, alors devra-t-on s'orienter vers la solution la plus largement utilisée dans les autres pays : la mise en place d'un réseau de drains de faible pente (0,5%), collectant les eaux de ruissellement vers les bas-fonds ce qui conduirait à la suppression de toute culture d'ananas dans les points bas. Ceux-ci représentent une superficie assez importante sur la plantation ; cette solution est donc pour l'instant difficilement envisageable.
- en théorie, il serait très souhaitable d'établir un calendrier cultural permettant de réserver les plantations de saison sèche aux parcelles les plus pentues. Compte tenu des problèmes actuels (quasi-doublement de la surface exploitée : de 800 à 1500 ha), ce projet ne sera envisageable que lorsque la plantation aura acquis un rythme d'équilibre.

Les problèmes d'érosion, et les solutions envisagées doivent être considérés en coût économique. Un travail approfondi devrait être mené pour déterminer l'impact réel des pertes en terre et en plans, sur la production, les temps de travaux, les dégâts du matériel agricole etc.... Il appartient néanmoins au praticien et non au chercheur de prendre les décisions en ce domaine. Il semble convenable toutefois de préconiser un aménagement léger (comblement des griffes et ravines....) sur les sommets et les têtes de versants; une protection plus efficace des parcelles situées en aval serait alors assurée.

III.2. Economie des éléments fertilisants

Les études expérimentales démontrent que les pertes en éléments fertilisants sont extrêmement importantes et rapides sur les 20 premiers centimètres, zone d'activité racinaire, pendant la saison des pluies. Seuls, les terres non fertilisées depuis plusieurs années retiennent ces éléments, au moins quelques temps. Sur les plantations, il semble exister un enrichissement des horizons de profondeur. Au vu de ces résultats, il est possible d'émettre quelques suggestions afin d'économiser les éléments issus des résidus de récolte et des engrais.

III.2.1. Les restitutions :

La totalité des éléments sont entraînés au-delà des 20 premiers centimètres pendant la saison des pluies si aucun système racinaire ne vient les absorber. Il suffit en effet d'un mois pour que tous les éléments libérés pendant la saison sèche et les premières pluies (pic de minéralisation) soient lixiviés en dehors de l'horizon superficiel. Il convient par conséquent de réduire au minimum la durée séparant l'enfouissement des résidus (au labour ou au rotavator) et la plantation. Celle-ci varie actuellement de 1,5 à 3 mois. La simplification des techniques (mulch) permet de l'abaisser à 3 semaines. Un facteur important semble limiter cependant l'adoption d'un tel calendrier. Il s'agit des risques très importants d'infestation par le *Phytophthora* (parasitica et cinnamomi), signalés par les agronomes. Lors d'essais en plein champ, ils ont compté à l'hormonage, 17 fois plus de pieds attaqués pour le mulch que pour le labour (HAINNAUX et de RICAUD 1977). Il serait très souhaitable par conséquent d'évaluer et de comparer les gains (en temps et en éléments fertilisants) sous mulch aux pertes qu'il entraîne, par augmentation du parasitisme.

III.2.2. Les engrais :

- fractionnement : si l'emploi des phosphates comme engrais de fond semble justifié, celui de la dolomie n'est pas souhaitable. Les essais montrent en effet que le calcium et le magnésium migrent très vite en saison des pluies pour être retenus plus en profondeur. L'apport de dolomie devrait s'effectuer au moins en deux fois : au début des deux saisons sèches (pendant les phases de ressuyage du profil, l'eau est encore en quantité suffisante pour permettre l'absorption racinaire sans qu'il y ait risque de lixiviation).

Le fractionnement de la potasse et de l'urée en 7 pulvérisations semble suffisant. On pourrait s'orienter toutefois vers l'emploi d'engrais azoté à minéralisation lente (engrais-retard) surtout pendant la saison des pluies.

- le profil pédologique présente une augmentation du pourcentage d'argile dans les horizons situés sous la zone d'enracinement. Le complexe absorbant de ces horizons retient 37% des cations (K, Ca et Mg) apportés par les engrais et restitués par les résidus. Une plante fourragère à enracinement plus profond que l'ananas (*Pennisetum purpureum* Schumm., *Panicum maximum* Jacq...) permettrait une remontée de ces éléments. Une rotation : 2 ans "ananas" deux ans de jachère améliorante de *Pennisetum* ne peut être envisagée en fait que dans le système villageois. La production d'ananas étant l'objectif essentiel des grandes plantations industrielles cette solution ne peut pas être retenue par les praticiens.

D'une manière générale, il semble que l'économie et la réutilisation éventuelle des éléments fertilisants constituent des objectifs difficiles à atteindre compte tenu d'autres facteurs souvent prépondérants (problèmes phytosanitaires, système de culture.)

III.3. Choix des techniques culturales

L'étude des deux premiers cycles permet de dégager les principaux avantages et inconvénients des diverses techniques utilisées. Il importe, pour cette synthèse, de tenir compte des dates de plantation.

III.3.1. Brûlis :

Cette technique, utilisée en culture villageoise offre l'avantage de se débarrasser des résidus de récolte, sans utiliser de matériel agricole lourd. C'est une méthode rapide et économique. Bien que les essais en parcelles ne le soulignent pas il est très probable que le feu participe à la lutte contre le parasitisme. Le principal inconvénient de cette technique est la perte, par voie gazeuse, de 175 kg/ha d'azote contenu dans les résidus (soit 77% des restitutions azotées) et une minéralisation très rapide des autres éléments.

Si le brûlis a lieu au début de saison sèche, la libération massive d'éléments nutritifs favorise le début de croissance (humidité encore suffisante, sans risque de lixiviation). C'est le traitement qui assure alors les meilleurs rendements. (2e cycle). Si l'on brûle les résidus en fin de saison sèche ou en début de saison des pluies, les quantités lixiviées risquent d'être très importantes (minéralisation rapide accentuée par le pic de nitrification). En outre, la couverture du sol, alors trop réduite, entraîne des pertes en terre considérables.

III.3.2. Mulch :

La suppression du travail du sol assure un gain de 3 semaines et des économies de matériel et de carburant. Les essais démontrent que c'est le mode d'utilisation des résidus de récolte qui garantit la meilleure conservation des sols. Il joue le rôle d'engrais-retard, mais à l'excès puisqu'en fin de cycle, il retient toujours 25% de l'azote et du calcium contenus dans le stock initial de résidus.

Cependant, les rendements enregistrés pour ce traitement sont inférieurs aux autres, sur parcelles (2e cycle) et en plein champ (HAINNAUX et de RICAUD 1977). Ces résultats sont imputables à plusieurs facteurs. Les agronomes remarquent qu'étant donnée la masse végétale en surface, il est très difficile d'assurer une plantation homogène et de respecter la densité prévue. Les problèmes phytosanitaires sont plus marqués, pour ce traitement en plein champ que pour les autres (*Phytophthora*) (HAINNAUX et de RICAUD 1977). Les comptages effectués sur parcelles ne révèlent pas d'enherbement plus élevé pour le mulch que pour le brûlis et l'enfouissement. Il est connu cependant (PY, communication orale) que l'adsorption des herbicides sur les résidus en diminue l'efficacité. Si le mulch limite l'évaporation, il favorise au contraire les pertes par lixiviation en accentuant le drainage. Cet entraînement des éléments fertilisants en profondeur est peut-être à l'origine de la forte proportion de petits fruits non commercialisables en fruits frais (34% au deuxième cycle) et rejetés par les conserveries.

Si la plantation a lieu en début de saison sèche, l'enracinement reste très limité à cause du non travail du sol et la croissance des rejets se trouve très réduite du fait de l'alimentation hydrique et minérale presque nulles. Si le début de cycle coïncide avec la fin de la saison sèche ou le début de la saison des pluies, les résidus en surface assurent une protection totale du sol mais favorise la lixiviation des éléments minéraux.

La conservation des sols étant un objectif moins prioritaire que l'obtention de rendements élevés, ce traitement ne semble pas devoir être retenu par les praticiens. Il est à noter que le mulch présente des avantages beaucoup plus nets pour les cultures à enracinement profond (maïs, LAL 1975) qui tirent mieux profit de l'eau et des éléments minéraux entraînés en profondeur. En climat humide, la lixiviation, les risques d'infestation diminuent l'intérêt de cette technique pour les plantes à enracinement superficiel (ananas).

III.3.3. Enfouissement :

Les calculs réalisés par la SOCABO montrent que l'enfouissement des résidus au rotavator et l'abandon du labour réduit les temps de travaux de 11 heures/ha à 3 heures 40/ha. Cette simplification des techniques culturales représente l'économie appréciable de 1,5 million de Frs CFA pour 100 ha (de RICAUD, 1978). Cette opération, de plus favorise la structuration du sol ; elle entraîne des pertes d'éléments moins importantes que pour le mulch et probablement que le labour. On signalera que les responsables des plantations qui testent actuellement cette technique se plaignent de l'usure rapide des pièces travaillantes du rotavator.

Les implantations d'août à octobre donnent, pour cette technique des résultats aussi satisfaisants que pour le labour (HAINNAUX, de RICAUD 1977). Les essais en parcelles montrent que la restitution des éléments est suffisamment lente pour limiter les risques de lixiviation. Si la plantation a lieu en fin de saison sèche, le sol n'est pas assez couvert pour limiter l'érosion. La discontinuité apportée par le rotavator à 20-25 cm ralentirait le drainage (et donc la lixiviation). Les profils culturaux étudiés par les agronomes (HAINNAUX et de RICAUD 1977) indiquent la formation de petites zones de réduction à ce niveau pendant la saison des pluies. Le billonnage diminue cependant largement cet effet.

III.3.4. Labour :

C'est la technique habituellement utilisée sur les plantations. Son étude est réalisée par les agronomes. Le labour sur 40 cm favorise l'infiltration en saison des pluies (et très probablement la lixiviation) (Van ANGTROVEN 1977) et permet un enracinement légèrement plus profond que pour les autres traitements. C'est la technique culturale à la fois la plus longue et la plus coûteuse. Les vitesses de nitrification que nous avons mesurées sont inférieures à celles des autres traitements du fait d'un enfouissement trop profond des résidus.

Pour les plantations en début de saison sèche, ce travail du sol provoque un dessèchement plus rapide que pour les autres traitements. Quand la plantation a lieu en début de saison des pluies, l'érosion doit être importante du fait de la mauvaise couverture du sol (identique à celle de l'enfouissement).

La livraison régulière d'ananas à l'usine est l'un des objectifs majeurs des grandes plantations industrielles. Elle impose des dates de plantation réparties sur 10 mois dans l'année. Il serait possible de choisir les différentes techniques culturales en fonction de ces dates de plantations :

fin de la petite saison des pluies : labour-billonnage

début de la saison sèche : labour-billonnage ou brûlis

saison sèche : enfouissement-billonnage

début de la grande saison des pluies : mulch.

Malgré, les divers inconvénients déjà cités, le mulch semble devoir être retenu lorsque les impératifs de livraison à l'usine imposent des plantations en saison des pluies. Il est illusoire de préconiser en effet une quelconque technique antiérosive si le sol n'est pas suffisamment couvert à cette époque. Dans les conditions actuelles l'enfouissement au rotavator suivi d'un billonnage apparaît comme la solution la plus apte à remplacer le labour, au moins un cycle sur deux.

CONCLUSION

CONCLUSION

Les études de dynamiques actuelles fournissent aux agronomes et aux planificateurs des données essentielles sur la mise en valeur des sols (régimes hydriques, sensibilité à l'érosion etc...). De telles recherches nécessitent, au préalable, une sérieuse connaissance des sols et de leur répartition. Il est indispensable, en effet, :

- 1) de pouvoir relier le comportement des sols à leur morphologie

- 2) de bien s'assurer de la représentativité des sites expérimentaux.

Les premiers résultats acquis incitent à porter toute son attention, lors des études ultérieures sur la morphologie et la dynamique de la surface du sol et de son premier horizon. C'est là que s'observent en effet le plus grand nombre de phénomènes essentiels : concentration de la plupart des processus biologiques et biochimiques (décomposition de la litière, évolution des matières organiques, absorption racinaire, germination etc...), contrôle par l'état de surface des échanges gazeux, de l'infiltration, de la sensibilité à l'érosion etc... Ce type d'études pourraient être à l'origine d'une recherche approfondie sur les divers travaux culturaux (labour, façons superficielles, semis...) en vue d'une adaptation plus rigoureuse aux conditions de milieu.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- ADAMS J.E., KURKHAM D. et NIELSEN D.R. 1957.- A portable rainfall simulator infiltrometer and physical measurements of soil in place.
Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 21, pp. 473-477.
- AKODO E.A., 1977.- Etude de l'évolution biochimique des sols ferrallitiques forestiers de basse Côte d'Ivoire sous l'effet du défrichement.
ORSTOM, Abidjan, 77p., multigr.
- AMERMAN C.R., HILLEL D.I. et PERTERSON A.L., 1970.- A variable intensity sprinkling infiltrometer.
Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 34, pp. 830-832.
- ASSELIN J. et VALENTIN C., 1977.- Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion.
ORSTOM, Abidjan, 34p., 12 tabl., 16 fig., 3 photos, multigr.
- AUBERT G., 1958.- Visite à la SALCI, Ono.
ORSTOM, Abidjan, 2p., multigr.
- AUBERT G. et SEGALEN P., - Projet de classification des sols ferrallitiques.
Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 4, 4, pp. 97-112.
- AUDRY P., et al., 1973.- Essai sur les études de dynamique actuelle des sols. Bulletin du groupe de travail sur la dynamique actuelle des sols.
ORSTOM, Paris, n°2, 126p. + annexes.
- AVENARD J.-M., 1962.- La solifluxion ou quelques méthodes de mécanique des sols appliqués au problème géomorphologique des versants.
Centre de Documentation Universitaire de Paris, 164p., multigr.
- AVENARD J.-M., ELDIN M., GIRARD G., SIRCOULON J., TOUCHEBEUF P., GUILLAUMET J.-L., ADJANOHOUN E. et PERRAUD A., 1971.-
Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire.
Mémoire ORSTOM n° 50, 391p.
- AVENARD J.-M. et ROOSE E.J., 1972.- Quelques aspects de la dynamique actuelle des versants en Côte d'Ivoire.
ORSTOM, Abidjan, 25p., multigr.

- BACHELIER G., 1963.- La vie animale dans les sols.
 ORSTOM, Paris, sér. Initiation documentations
 techniques, n° 3, 279p.
- BACHELIER G., 1973.- Technique d'extraction et d'inclusion globale
 des microarthropodes en vue d'en évaluer la diversité.
 Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XI, 1, pp. 85-89.
- BEAUDOU A.G., CHATELIN Y. et MULLER J.P., 1975.- Compte rendu de
 la tournée dans le Nord de la Côte d'Ivoire (Région de
 Korhogo et de Boundiali) 19 au 23 mai 1975.
 ORSTOM, Abidjan, 26p., multigr.
- BEAUDOU A.G. et CHATELIN Y., 1977.- Méthodologie de la représenta-
 tion des volumes pédologiques. Typologie et cartographie
 dans le domaine ferrallitique africain.
 ORSTOM, Abidjan, 23p., multigr.
- BEAUDOU A.G. et COLLINET J., 1977.- La diversité des volumes
 pédologiques cartographiables dans le domaine ferrallitique
 africain.
 ORSTOM, Abidjan, 25p., multigr.
- BEAUDOU A.G. et SAYOL R., 1977.- Légende de la carte des segments
 pédologiques de Boundiali. éch. 1/200.000e.
 ORSTOM, Abidjan, 24p., multigr.
- BEAUDOU A.G. et SAYOL R., 1977.- Légende de la carte des paysages
 morphopédologiques de Boundiali éch. 1/200.000e.
- BEAUDOU A.G. et BLIC (Ph.de), 1978.- Etude typologique du complexe
 sol-plante en cultures intensives semi-mécanisées dans le
 Centre ivoirien.
 ORSTOM, Abidjan, 32p.
- BERTRAND S.R. et PARR J.R., 1960.- Development of a portable
 sprinkling infiltrometer. 7th Intern. Congress of Soil
 Science, Madisson, Wisc. USA, 1960, VI, 4, pp. 433-440.
- BLANCHARD D.C., 1951.- The distribution of raindrops in natural
 rain occasional report n° 15,
 General Electric Research Lab. Project. Cinus.
- BOISSEZON (P. de) 1969.- Note sur la classification des sols
 ferrallitiques.
 ORSTOM, Abidjan, 13p., multigr.
- BOISSEZON (P. de), BONZON B. et TALINEAU J.-C., 1969.- Profils cul-
 turaux sous ananas dans la plantation de la SALCI à Ono.
 ORSTOM, Abidjan, 14p., multigr.

- BOLI BABOULE Z., 1976.- Mise au point d'un simulateur de pluie de laboratoire. Essai d'application à l'étude de l'érodibilité des sols.
D.E.A. Université Paris VII, ORSTOM, 19p., multigr.
- BOLI BABOULE Z., 1977.- Etude pédologique et cartographie du périmètre Bolona-Blessegué-Gbeni-Popo (sous préfecture de Tingréla)- Côte d'Ivoire. Notice explicative de l'esquisse pédologique au 1/50.000e.
ORSTOM, Abidjan, 65p. + 2 cartes hors texte, multigr.
- BOULAIN J., 1966.- Sur la précision des cartes pédologiques.
Cah. ORSTOM, Sér. Pédol., IV, 1, pp. 3-7.
- BOULAIN J., 1969.- Sol, Pédon et Géonon - Concepts et définitions.
Bull. A.F.E.S. n° 2
- BOULAIN J., 1971.- Cours de pédologie générale.
Institut National agronomique Paris-Grignon, 276p.
- BOULAIN J., 1971.- L'Agrologie.
Coll. "que suis-je", P.U.F. Paris, 128p.
- BOULET R., 1976.- Notice des cartes de ressources en sols de la Haute Volta.
ORSTOM, Paris, 97p.
- BOYER, J., 1970.- Essai de synthèse des connaissances acquises sur les facteurs de fertilité des sols en Afrique intertropicale francophone.
ORSTOM, Paris, 175p.
- CHABALIER P.F. 1976.- Contribution à la connaissance du devenir de l'azote du sol et de l'azote engrais dans un système sol-plante.
Résultats d'essais portant principalement sur les cultures de riz et de maïs en sols ferrallitiques de Bouaké et Gagnoa (Côte d'Ivoire).
Thèse de Docteur Ingénieur Université d'Abidjan, N° 33, 131p. + annexes.
- CHATELIN Y. et MARTIN D., 1972.- Recherche d'une terminologie typologique applicable aux sols ferrallitiques.
Cah. ORSTOM, sér. Pédol., X, 1, pp. 25-43.
- COCHEME J. et FRANQUIN P., 1967.- Une étude d'agroclimatologie de l'Afrique sèche au sud du Sahara en Afrique Occidentale.
Rapport technique FAO - UNESCO - OMM. Rome, 325p.

- COLLINET J., 1974.- Compte rendu d'une tournée dans le Nord de la Côte d'Ivoire 18 avril au 18 mai 1974.
Etude de quelques toposéquences représentatives des relations pédogenèse-morphogenèse dans la région de Boundiali.
ORSTOM, Abidjan, 57 p. + annexes.
- COLLINET J., ASSELINE, J. et LAFFORGUE, A., 1975.- Conte rendu d'une mission en Haute-Volta (3 mars - 3 juin 1975).
ORSTOM, Abidjan, 27p., multigr.
- COMBRES J.-C., 1978.- Besoins en eau de l'ananas et bilan énergétique. in : Les fruits et légumes. Comité Technique thématique. Ministère de la recherche scientifique de Côte d'Ivoire. pp. 33-38, multigr.
- DEXTER A.R., 1977.- Effect of rainfall on the surface microrelief of tilled soils.
Journ. of terramechanics, 14, 1, 11-22.
- DIXON, R.M. et PETERSON, A.E.E., 1964.- Construction and Operation of a modified spray infiltrometer and a flood infiltrometer, Univ. of Wisconsin, Research Report N° 15, 31p.
- DUCHAUFOUR P., 1970.- Précis de Pédologie.
Masson et Cie éd., Paris, 433p.
- DUMAS J., 1965.- Relation entre l'érodibilité des sols et leurs caractéristiques analytiques.
Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 3, 4, pp. 307-334.
- ESCHENBRENNER V. et GRANDIN G., 1970.- La séquence des cuirasses et ses différenciations entre Agnibilékrou (Côte d'Ivoire) et Diebouyou (Haute-Volta).
Cah. ORSTOM, sér. Géol., II, 2, pp. 205-255.
- ESCHENBRENNER V. et BADARELLO L., 1975.- Notice explicative de la carte des paysages morphogéologiques. Feuille d'Odienné.
ORSTOM, Abidjan, 95 p. + 8 carte hors texte ; multigr.
- FELLER C., 1976.- Evolution des sols de défriche récente dans la région des terres neuves. Sénégal Oriental.
Aspects biologiques et caractéristiques de la matière organique.
ORSTOM, Dakar, 18p., copyright.
- FRANQUIN P., 1973.- Analyse agroclimatologique en régions tropicales. Méthode des intersections en période fréquentielle de végétation.
Agron. Trop., 28, 6-7, pp. 665-682.

- GANRY F., 1977.- Etude en microlysismètres de la décomposition de plusieurs types de résidus de récolte dans un sol tropical sableux.
Agron. Trop., 32, 1, pp. 51-65.
- GIRARD G., 1963.- Etude du bassin versant de la rivière Agnôby.
Résultats de campagne 1961-1962. Tome I.
Les bassins supérieurs et moyens.
ORSTOM, Paris et Direction du Génie Rural de Côte d'Ivoire,
multigr.
- GODEFROY J., 1974.- Evolution de la matière organique sous culture du bananier et de l'ananas. Relations avec la structure et la capacité d'échange cationique.
Thèse de Docteur-ingénieur Nancy - CNRS - NA 09296, 166p.,
multigr.
- GRANDIN G. et DELVIGNE J., 1969.- Les cuirasses de la région birrimienne volcano-sédimentaire de Toumodi. Jalons de l'histoire morphologique de la Côte d'Ivoire.
C.R. Acad. Sci. Paris, 262, série D, pp. 1474-1477.
- GUNN, R., et KINZER G.D., 1949.- The terminal velocity of fall for water droplets.
J. Met., 6, pp. 243-248.
- HAINNAUX G. et de RICAUD (J.), 1977.- Etudes préliminaires de l'incidence des techniques de travail du sol sur la croissance de l'ananas.
IRFA-ORSTOM, Abidjan, 21p.+ annexes, multigr.
- HENIN S., GRAS R. et MONNIER G., 1969.- Le profil cultural.
L'état physique du sol et ses conséquences agronomiques.
Masson et Cie éd., Paris, 332p.
- HUDSON N.W., 1963.- Raindrop Size distribution in high intensity so storms.
Rhod. J. Agric. Res. 1, pp. 6-11.
- HUDSON N.W., 1964.- The flour pellet method for measuring the size of raindrops, Dept. of Conservation and Extension.
Research Bulletin, N° 4, Salisbury, 26p.
- HUDSON N.W., 1973.- Soil Conservation.
B.T. Batsford limited, London, 320p.

- JANSE A.R.P., HUSBOS W.C. et OCHS R., 1955.- Etude des modifications physiques d'un sol de savane pour la culture du palmier à huile.
Oléagineux, 10, 5, pp. 321-331.
- JOHNSON W.D., 1963.- The pedon and polypedon
Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 27, 2pp., 212-215.
- KAUFFMANN J., BOCQUEL G. et TOUSSAINT P., 1956.- Sur le rapport entre les pouvoirs cellulolytiques fixateur de l'azote atmosphérique, ammonificateur et nitrificateur des terres. Essais d'application à la classification biologique des sols.
Agron. Trop., 11, 1, 93-102.
- KAZO B., 1966.- Determination of the water regime properties of soils with an artificial rainfall simulator.
Agrokonomia es Talajtan, 15, 2, 238-249.
- KELKAR V.N., 1960.- Size distributions of raindrops.
Indian J. Met. Geophys. Part I, 10, 2, 1959, Part II, 11, 4, 323, 1970.
- KER A.D.R., 1954.- The measurement of Rainfall Intensity, Drop Size Distribution and Impactive Force, unpublished thesis for Dip. in Trop. Agric. Trinidad, 26p.
- LAFFORGUE A. et NAAH E., 1976.- Mesures des phénomènes d'érosion sous pluies simulées aux cases d'érosion d'Adiopodoumé. Analyses des facteurs de ruissellement.
ORSTOM, Abidjan, 32p., 40 graphes, multigr.
- LAFFORGUE A., 1977.- Inventaire et examen des processus élémentaires de ruissellement et d'infiltration sur parcelles. Application à une exploitation méthodique des données obtenues sous pluies simulées.
ORSTOM Bureau Central Hydrologique Paris, 99p., multigr.
- LAL R., 1975.- Role of mulching techniques in tropical soil and water management.
Techn. Bull. n° 1, IITA, Ibadan, 38p.
- LAL R., 1976.- Soil erosion problems on an alfisol in western Nigeria and their control. IITA, Ibadan, monograph n° 1, 126p.
- LAWS J.O., 1949.- Measurement of fall velocity of water drops and rain drops.
Trans. Amer. Geophys. Union, pp. 709-721.

- MEESTER (T. de), EMESON, JUNGERIUS P.D., 1977.- Some problems in assessing soil loss from small scale field measurements. Intern. Conf. on "Role of Soil Physical Properties in Maintaining productivity of tropical soils". IITA Ibadan, 17p., multigr.
- MEYER L.D., 1958.- An investigation of methods for simulating rainfall on standart run-off plots and a study of the Drop Size, Velocity, and Kinetic Energy of selected spray nozzle. Purdue Univers., Special Report N° 81, 42p.
- MEYER L.D. et McCUNE D.L., 1958.- Rainfall simulator for run-off pplots. Journ. of the Amer. Soc. of Agric. Eng., 39, 10, pp. 664-648.
- MEYER L.D., 1965.- Simulation of Rainfall for Soil Erosion Research. Trans. of the A.S.A.E., vol. 8, n° 1, pp. 63-65.
- MIHARA, Y., 1951.- Raindrops and Soil Erosion. Bulletin of the National Institute of Agricultural Science; séries A, 1.
- MOLINIER M., 1971.- Etude du ruissellement sur le bassin versant de Korhogo. Campagnes 1968-1969-1970. ORSTOM, Abidjan, 60p., + annexes.
- MARIN J., GOLDBERG D. et SEGNER I., 1967.- A rainfall simulator with a rotating disk. Trans of the Am. Soc. of Agric. Eng, 10, 1, pp. 74-79.
- MOUREAUX C., 1967.- Influence de la température et de l'humidité sur les activités biologiques de quelques sols ouest africains. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 5, 4, pp. 393-420.
- MOUREAUX C., 1973.- Cours de microbiologie des sols. ORSTOM, Paris, 1973, 137p., multigr.
- MUCHENA F.N., 1977.- Use of soil physical characteristics for land evaluation. Inter. Conf. on "Role of soil physicial properties in maintaining productivity of tropical soils". IITA, Ibadan, 17p., multigr.
- MUTCHLER C.K. et MOLDENHOVER W.C., 1963.- Applicator for laboratory rainfall simulator. Tr. fo the Amer. Soc. of Agr. Eng., 6, 3, pp. 220-222.
- PALMER R.S., 1962.- An apparatus for forming waterdrops. New Hampshire Agric. Experiment. Station. Res. Report, n° 63, 28p.

- PERRAUD A., 1960.- Etude expérimentale de l'érosion.
Campagnes 1952-1960.
IDERT-ORSTOM, Abidjan, 5p., multigr.
- PERRAUD A. et SOUCHERE (P. de la), 1962.- Tourbes de l'Agnéby.
ORSTOM, Abidjan, 23p., multigr.
- POULAIN J.F., 1977.- Les résidus de culture dans les systèmes
culturaux traditionnels de l'Afrique de l'Ouest. Effets
sur le bilan minéral et le statut organique des sols,
propositions pour leur meilleure gestion.
F.A.O.-S.I.D.A. Doc. provisoire, 49p.
- PY C. et TISSEAU M.A., 1965.- L'ananas.
Maison Neuve et Larose éd., Paris, 298p.
- RICAUD (J. de) et VALENTIN C., 1978.- Compte rendu de la visite
du 20.1.78 aux plantations de la SALCI.
ORSTOM, Abidjan, 5p., multigr.
- RIOU C., 1966.- Quelques relations entre pluies, ruissellement
et infiltration, obtenues en laboratoire sur des sols
initialement secs.
INRA, Tunis, Lab. de Bioclimatologie, 12p., multigr.
- ROOSE E.J., CHEROUX M., 1966.- Les sols du bassin sédimentaire de
Côte d'Ivoire.
in : Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. IV, n°2, pp. 51-92.
- ROOSE E.J., 1967.- Note technique : "l'aménagement des ravines en
Côte d'Ivoire.
ORSTOM, Abidjan, 7p., multigr., 7 réf., 1 fig.
- ROOSE E.J., 1968.-
Recherche en conservation des sols et des eaux. Rapport
technique de mission aux U.S.A. et en France. (Juillet
à novembre 1968).
ORSTOM, Abidjan, 46 p., multigr.
- ROOSE E.J., HENRY des TUREAUX P., 1970.- Deux méthodes de mesure
du drainage vertical dans les sols en place.
in : Agron. Trop., 1970, 25, 12, pp. 1079-1087, 7 fig.,
13 réf.
- ROOSE E.J., 1971.- Projet de lutte contre l'érosion hydrique sur
le plateau mossi (Haute-Volta).
ORSTOM, Abidjan, 22p., multigr., 32 réf., fig.

- ROOSE E.J. et BERTRAND R., 1971.- Contribution à l'étude de la méthode des bandes d'arrêt pour lutter contre l'érosion hydrique en Afrique de l'Ouest.
Agron. Trop., 26, pp. 1270-1283.
- ROOSE E.J., 1972.- Comparaison des causes de l'érosion et des principes de lutte antiérosive en région tropicale humide, tropicale sèche et méditerranéenne. Communication aux Journées d'Etude du Génie Rural à Florence, 12-16 sept. 1972.
ORSTOM, Abidjan, 24 p., multigr., 5 fig., 4 tabl., 34 réf.
- ROOSE E.J., 1973.- Dix-sept années de mesures expérimentales de l'érosion et du ruissellement sur un sol ferrallitique sableux de basse Côte d'Ivoire. Contribution à l'étude de l'érosion hydrique en milieu intertropical.
ORSTOM, Abidjan, 125p., multigr., tabl., fig., 125 réf., (Thèse Doct.-Ing., Fac. Sciences, Abidjan, 1973, n° 20).
- ROOSE E.J., 1975.- Application de l'équation de prévision de l'érosion de Wischmeier et Smith en Afrique de l'Ouest.
ORSTOM, Abidjan, 22 p., multigr., 1 carte, 7 tabl., 44 réf. (Communication au Colloque sur la conservation et l'aménagement du sol dans les tropiques humides ; IITA, Ibadan 30/6 au 4/7/75).
- ROOSE E., 1975.- Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. 20 années de mesures en petites parcelles expérimentales.
ORSTOM, Abidjan, 72p., multigr.
- ROOSE E. et LACOEUILHE J.J., 1975.- Etude du ruissellement de l'érosion et de la lixiviation en fonction du mode d'utilisation des résidus de la culture d'ananas. Protocole expérimental.
IRFA-ORSTOM, Abidjan, 17p., multigr.
- ROOSE E. et LACOEUILHE J.J., 1976.- Etude du ruissellement de l'érosion et de la lixiviation en fonction du mode d'utilisation des résidus de la culture d'ananas. Rapport de la campagne 1975.
IRFA-ORSTOM, Abidjan, 18p., multigr.
- ROOSE E., 1976.- Contribution à l'étude de l'influence de la mésosofaune sur la pédogenèse actuelle en milieu tropical.
ORSTOM, Abidjan, 56p., multigr.
- ROOSE E., MOREAU R. et VALENTIN C., 1976.- Compte rendu de la visite du 9.12.76 aux plantations de la SOCABO et de la SALCI.
ORSTOM, Abidjan, 6p., multigr.

- ROOSE E. et GODEFROY J.J., 1977.- Pédogenèse actuelle d'un sol ferrallitique remanié sur schiste sous forêt et sous bananeraie fertilisée de basse Côte d'Ivoire. 8 années d'observations sur l'érosion, le drainage et l'activité des vers de terre à la station IRFA d'Azaguié. ORSTOM, Abidjan, 116p., multigr.
- ROUGERIE G., 1960.- Le façonnement actuel des modelés en Côte d'Ivoire forestière. Mém. I.F.A.N., 58, 542p.
- SOUCHERE (P. de la), 1957.- Notice explicative de la carte des sols au 1/4000 de la concession de l'ORSTOM à Adiopodoumé. ORSTOM, Abidjan, 46p., multigr.
- STRANFORD, 1955.- Soil Sc., 19, 7pp. 74-77.
- SWANSON N.P., 1965.- Rotating boom rainfall simulator. Trans. Amer. Soc. of Agr. Eng. 8, pp. 71-72.
- TRICART J. et CAILLEUX A., 1974.- Traité de géomorphologie. Tome IV: le modelé des régions chaudes. Forêts et Savanes. Sedes éd. Paris, 337p.
- VALENTIN C., 1977.- Etude du ruissellement de l'érosion et de la lixiviation en fonction du mode d'utilisation des résidus de la culture d'ananas. Rapport du deuxième cycle cultural, ORSTOM, Abidjan, 11p.
- VALENTIN C., 1978.- Utilisation des résidus de culture de l'ananas. Intérêt et limites. in : Les fruits et légumes. Comité Technique Thématique - Ministère de la Recherche Scientifique de la Côte d'Ivoire, pp. 39-45, multigr.
- VAN AGTHOVEN J., 1977.- Etude des caractéristiques hydrodynamiques des profils culturaux obtenus pour différentes techniques de travail du sol en culture d'ananas. ORSTOM, Abidjan, 16p., multigr.
- VORON J.H., 1976.- La nouvelle méthode d'étude des sols ferrallitiques. B.N.E.T.D. Korhogo, 17p., multigr.
- VUILLAUME G., 1977.- Dépouillement des données recueillies au simulateur de pluies. Analyse du problème et instruction de rédaction des supports informatiques. ORSTOM, Paris, Bureau Central Hydrologique, Doc. provisoire, 92p., multigr.

WISCHMEIER, W.H. et SMITH D.D., 1958.- Rainfall energy and its relationship to soil loss.
Trans. Amer. Geophys. Union, 39, 2, pp. 285-291.

WISCHMEIER W.H. et SMITH D.D., 1960.- A universal soil loss estimating equation to guide conservation farm planning.
7th Intern. Congr. Soil. Science, Madison Wisconsin, 1, pp. 418-425.

ZINGG A.W., 1940.- Degree and length of land slope as it affect soil loss and runoff.
Agr. Eng., 21, pp. 59-64.

ANNEXES

- ANNEXES : I. Détermination de la taille des gouttes de pluies.
- II. Méthode d'estimation des vitesses de nitrification.
- III. Résultats analytiques du ruissellement et d'érosion concernant les essais "Longueur de pente" et "hétérogénéité de surface"
- IV. Résultats sur les cases expérimentales de ruissellement et d'érosion au cours des deux premiers cycles de cultures d'ananas.

A N N E X E I

DETERMINATION DE LA TAILLE DES GOUTTES DE PLUIES

I.1. Méthodes existantes

De nombreuses études ont été entreprises pour déterminer le diamètre des gouttes, sous pluies naturelles comme sous pluies simulées (LAWS 1949 ; MEYER 1958 ; HUDSON 1963).

On peut par exemple les photographier lors de leur chute, ou une fois recueillies dans un bain d'huile.

Certains auteurs ont utilisé des papiers filtres colorés par du bleu de méthylène ; les gouttes tombant dessus y laissent des auréoles dont les surfaces sont proportionnelles aux sections des gouttes.

D'autres chercheurs, plus nombreux, ont employé une technique plus rapide : on recueille les gouttes dans un bac de farine. Les agrégats ainsi formés, sont passés au four puis récoltés sur une batterie de tamis. Il existe une relation simple entre le diamètre de ces agrégats et celui des gouttes. Cette méthode, que nous avons utilisée, permet un gain de temps considérable par rapport à la précédente : les pesées des différentes fractions granulométriques demandent moins de temps que les mesures des diamètres de toutes les taches. Cette technique a permis d'obtenir des résultats semblables de la part de nombreux auteurs travaillant sur la taille des gouttes des pluies naturelles ; elle paraît suffisamment fiable pour déterminer les caractéristiques de pluies simulées.

I.2. Prise et traitement des échantillons

On soumet à l'aspersion un parallépipède de farine (30 x 20 x 2,5 cm) contenu dans un bac pouvant être couvert ou découvert très rapidement. La durée de l'exposition dépend de l'intensité ; elle est de l'ordre de une à trois secondes, afin de permettre la formation d'une masse suffisante d'agrégats (environ 3 g à sec) tout en laissant une probabilité faible pour que plusieurs gouttes ne tombent en un même point.

Les échantillons sont ensuite placés dans une étuve à une température de 105°C pendant 24 heures. On fait traverser alors à l'ensemble, farine + agrégats, une batterie de onze tamis : 200, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 2000, 3150, 4000 et 5000 μ . La fraction inférieure à 200 μ , retenue par aucun tamis, et trop difficilement discernable de la farine, n'est pas prise en compte (son influence est infime sur l'énergie cinétique). Les autres fractions sont pesées séparément. Une seule fraction concerne les agrégats dont le diamètre dépasse 5 mm. Mais nous verrons par la suite que cette taille n'est jamais atteinte sous les pluies simulées par l'infiltromètre.

I.3. Calibrage des gouttes

Il est nécessaire de connaître la relation permettant d'obtenir le diamètre des gouttes en fonction de la masse des agrégats ou en fonction de leur diamètre. Pour cela, on soumet les mêmes bacs de farine à l'impact de gouttes de masses et de diamètres connus.

Ces gouttes sont obtenues à partir de microseringues (type Hamilton) aimablement prêtées par le laboratoire de Physiologie Végétale. Elles sont conçues pour former des gouttes de volume constant (2,5, 5,0 et 10,0 mm³). Pour les gouttes plus grosses, nous avons utilisé des pipettes de précision graduées de 10 en 10 mm³. Il n'a pas été possible de produire des gouttes de diamètre inférieur à 1,680 mm (masse = 2,5 mg), mais les résultats de MEYER (1958) tendent à montrer que la relation reste la même quelle que soit la taille des gouttes, y compris pour les plus petites.

Les essais ont été réalisés à 3,50 m du sol (hauteur correspondant à celle du gicleur) mais aussi à un mètre. HUDSON (1963) a signalé que la vitesse d'impact influait sur la taille des agrégats formés, mais cette action est faible : entre 30 et 80% de la vitesse d'impact d'une goutte de pluie naturelle, le rapport masse de la goutte/masse de l'agrégat ne varie que de 4%. Nous avons trouvé un écart de 1% sur les diamètres d'agrégats formés après des chutes de 3,50 m et 1,0 m. Bien que travaillant ainsi à des vitesses d'impact inférieures aux vitesses limites, nous considérons que cette méthode permet une approximation suffisante pour le niveau de précision souhaité.

De même le nombre de diamètres testés est faible (7). En effet les études antérieures (BLANCHARD 1951, MEYER 1958) montrent une étroite corrélation entre les masses d'agrégats et celles des gouttes testées quelles que soient leur taille.

Lors de chaque essai, de 25 à 30 gouttes calibrées tombent sur la farine. La masse d'agrégats obtenue après séchage, et divisée par leur nombre donne la masse moyenne d'agrégat, correspondant à la taille de goutte testée.

Connaissant le volume de cette goutte, on en déduit son diamètre :

$$D(\text{mm}) = \frac{(6 V(\text{mm}^3))^{1/3}}{\pi}$$

En portant sur une feuille loglog les masses d'agrégats en fonction des diamètres de gouttes, on obtient une courbe s'ajustant sur la droite :

$$Y = 34 x + 1,12 \quad \text{avec } r = 0,99 \text{ (coefficient de regression)} \\ \text{et } n = 7 \quad \text{(cf. figure N° 4)}$$

On en déduit immédiatement la relation :

$$De = 13,18 Mf^{0,34} \quad \text{avec } De = \text{diamètre de la goutte (mm)} \\ \text{et } Mf = \text{masse de l'agrégat (mg)}$$

Cette relation est proche de celle établie par BLANCHARD (1951) : et celle de MEYER (1958)

$$De = 14,56 Mf^{0,354}$$

Les différences obtenues entre ces auteurs provient vraisemblablement du type de farine utilisée. (Pour ces essais nous avons employé la farine de force "PS-15 type U.S." des Grands Moulins d'Abidjan).

Nous avons déterminé sa densité apparente afin de calculer le diamètre des agrégats :

$$Df = \frac{(6 Mf)^{1/3}}{\pi b} \quad \text{avec } Df \text{ (mm)} : \text{diamètre de l'agrégat} \\ Mf \text{ (mg)} : \text{masse de l'agrégat} \\ \text{et } b : \text{densité de la farine}$$

$$b = 0,93$$

Il est ainsi possible de connaître le diamètre des gouttes en fonction de celui des agrégats :

$$De = 0,985 Df^{1,02} \\ \text{mm} \qquad \qquad \text{mm}$$

Pour chaque classe de diamètre d'agrégats correspondant aux différents tamis, on peut ainsi évaluer le diamètre moyen de gouttes. Il est supposé, comme le fait remarquer HUDSON (1973) qu'un nombre infime d'agrégats ont un diamètre supérieur à 6 mm sous pluies naturelles. Le diamètre moyen d'agrégats, pour la fraction supérieure à 5 mm, a donc été choisi arbitrairement à 5,5 mm.

Tableau N° 4 : Rayons des gouttes et diamètre des agrégats.

| | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| Classes de tamis | 0 | 200 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 2000 | 3150 | 4000 | 5000 |
| μ | 200 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 2000 | 3150 | 4000 | 5000 | et + |
| Diamètres moyens d'agrégats μ | 100 | 258 | 358 | 450 | 565 | 715 | 900 | 1500 | 2575 | 3575 | 4500 | 5500 |
| Rayons moyens des gouttes μ | 49 | 124 | 173 | 218 | 275 | 350 | 442 | 745 | 1293 | 1807 | 2285 | 2805 |

A N N E X E II

METHODE D'ESTIMATION DES VITESSES DE NITRIFICATION

II.1. Principe de la méthode

Pour des conditions physiques et biochimiques favorables, la minéralisation de l'azote s'effectue en deux étapes :

- ammonification donnant l'azote ammoniacal (NH_3)
 - nitrification, elle-même composée de deux oxydations
- $$\text{NH}_3 \longrightarrow \text{NO}_2 \text{ (nitrosation)}$$
- puis $\text{NO}_2 \longrightarrow \text{NO}_3 \text{ (nitratation)}$

Le réactif de Griess est spécifique des nitrites ; en présence de concentrations croissantes de nitrites, il donne à la solution étudiée les couleurs suivantes :

| concentration | couleur | "échelle des nitrites" |
|---------------|-------------------------------|------------------------|
| nulle | incolore | 0 |
| faible | rose | 1 |
| moyen | violet | 2 |
| fort | rouge ou jaune avec précipité | 3 |

Un manipulateur expérimenté est capable de distinguer des états intermédiaires. Le dosage, répété au cours du temps, permet d'évaluer l'augmentation de la concentration des nitrites (nitrosation) et leur disparition (nitratation), et par conséquent la vitesse de ces processus biochimiques.

II.2. Préparation du milieu de culture

Contrairement aux essais classiques de minéralisation (incubation), le milieu de culture utilisé est liquide. Il comprend :

- solution saline de Winogradsky 50 cm^3
- CaCO_3 10 g
- $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0,2 g
- H_2O Q.S.P. 1000 cm^3

II.3. Ensemencement

Le milieu de culture est réparti dans des Erlenmeyers, à raison de 30 cm^3 par flacon. Onensemence chacun d'eux de 0,2g de terre tamisée à 2 mm, (3 répétitions par terre étudiée) en laissant au moins trois témoins non ensemencés. Les flacons sont bouchés au

coton et mis à l'étuve à une température de 27°-30° C.*

II.4. Dosage colorimétrique et lecture

Trois fois par semaine, on prélève, sans précaution spéciale d'asepsie, 2 gouttes de chaque solution que l'on verse dans un tube à hémolyse (ou un tube Caubère). On y ajoute une goutte de réactif 1, dont la composition est la suivante :

| | |
|---------------------------------|---------------------|
| - Acide sulfanilique | 0,5 g |
| - Acide acétique cristallisable | 50 cm ³ |
| - H ₂ O Q.S.P. | 100 cm ³ |

puis une goutte du deuxième réactif :

| | |
|---------------------------------|---------------------|
| - naphtylamine | 0,2 g |
| - acide acétique cristallisable | 50 cm ³ |
| - H ₂ O Q.S.P. | 100 cm ³ |

On attribue une note suivant la coloration (de 1 à 3). On répète, pour chaque solution, ce dosage colorimétrique jusqu'à la disparition complète des nitrites. (de 20 à 50 jours). Dans le cas d'une nitratisation très lente, on arrête les mesures vers le 60e jour.

II.5. Présentation des résultats

Pour chaque répétition, on porte sur un graphe, au cours du temps, la note colorimétrique déterminée à chaque dosage. (cf. figures N°s 34 et 75). Il nous a paru intéressant de définir un indice de vitesse de nitrification à partir de ce graphe : I^u. Le paragraphe II,2,2 présente la définition de cet indice ainsi que deux exemples de dépouillement.

II.6. Critique de la méthode

Le principal obstacle à l'utilisation de cette méthode est la durée des mesures (jusqu'à 60 jours), et le nombre de répétitions par sol (3). Pour l'étude d'une trentaine de sols, il est nécessaire de consacrer trois matinées par semaines (lecture et dépouillement). De plus, elle ne donne pas une vitesse absolue de nitrification puisque elle a lieu en milieu anaérobie.

Cependant les différents auteurs qui ont utilisé cette méthode lui ont reconnu une bonne valeur de test comparatif. Certains (STANFORD 1955, MOUREAUX 1959, VALENTIN, 1975) ont noté une corrélation intéressante entre le classement des terres fourni par ce type d'étude et la fertilité des sols.

* En milieu tropical humide (Abidjan), les échantillons peuvent rester à la température ambiante. Les Erlenmeyers peuvent être avantageusement remplacés par des petites bouteilles de bière suffisamment nettoyées dont le verre teinté diminue nettement l'action de la lumière.

En effet l'écologie des germes nitrificateurs (nitrosomas et nitrobacter) intègre un certain nombre de facteurs édaphiques très importants : pH, aération (et donc souvent structure et porosité des agrégats), richesse chimique (azote, bases), absence d'inhibiteur.

De plus, cette méthode permet d'étudier les variations saisonnières des conditions de milieu (cf. figures N°s 76 et 77).

Bien que longue, l'étude des vitesses de nitrification par ce procédé paraît présenter, par conséquent un intérêt certain.

II.7. Bibliographie

- KAUFFMANN et BOQUEL - An. Inst. Pasteur 1951.
- KAUFFMANN J., BOQUEL G. et TOUSSAINT P. : Sur le rapport entre les pouvoirs cellulolytique, fixateur de l'azote atmosphérique, ammonificateur des terres. Essai d'application à la classification biologique des sols. Agron. Trop., XI, N°1, 1956, pp. 93-102.
- KAUFFMANN, J., MOURARET M. et BOQUEL G. : Travaux pratiques de Microbiologie des Sols. ORSTOM-SSC, 1973, 44p.
- MOUREAUX, Académie Malgache T. 37, 1959.
- STANFORD : Soil Sci. Proc. 1955, 19, pp. 74-77.
- VALENTIN C. : Les contraintes édaphiques du hêtre sur les sols clacimagnésiques de la forêt de Chatillon-sur-Seine, Mémoire de D.E.A. 1976. ORSTOM-Université Paris VII, 108p.

A N N E X E III

RESULTATS ANALYTIQUES DU RUISSELLEMENT ET D'EROSION
CONCERNANT LES ESSAIS "LONGUEUR DE PENTE" ET "HETE-
ROGENEITE DE SURFACE"

III.1. Essai "longueur de pente"

A D P

| Noms des pluies et parcelles | C _s g/l | C _x g/l | q _s g/s/ha | q _x g/s/ha | l _m mm/h | T _a H | Σ Pu mm | T _i mm | R _x mm/h | Σ LR mm | DS mm |
|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|---------------------|------------|----------------------|------------------------|------------|----------|
| ADP 211 a 1 | 1,73 | 1,07 | 11,0 | 5,9 | 62,5 | 22,17 | 173 | 14,0 | 2 | 2,0 | 0,01 |
| 3 | 1,01 | 1,01 | 14,6 | 5,6 | | | | 7,17 | 2 | 2,2 | 0,02 |
| ADP 311 a 2 | 2,67 | 1,14 | 70,4 | 58,9 | 61,3 | 2 | 248,3 | 6,5 | 1,95 | 9,4 | 0,13 |
| 4 | 0,56 | 0,22 | 24,8 | 10,9 | | | | 6,5 | 17,5 | 8,8 | 0,195 |
| ADP 311 b 2 | 0,94 | 0,47 | 64,4 | 33,9 | 63,3 | 0,3 | 269,4 | 2,92 | 26,0 | 17,5 | 0,03 |
| 4 | 0,68 | 0,35 | 52,3 | 24,6 | | | | 2,73 | 26,0 | 16,3 | 0,05 |
| ADP 311 c 1 | 0,82 | 1,07 | 13,7 | 48,6 | 61,2 | ~ 50 N | 252,2 | 5,60 | 16,0 | 9,5 | 0,34 |
| 3 | 1,20 | 1,04 | 63,3 | 82,3 | | | | 3,0 | 30,0 | 16,1 | 0,28 |
| ADP 311 d 1 | 1,33 | 1,32 | 50,8 | 85,7 | 61,3 | 0,25 | 272,6 | 2,33 | 25,0 | 13,9 | 0,25 |
| 3 | 1,39 | 0,50 | 110,8 | 41,1 | | | | 1,53 | 34,0 | 24,5 | 0,22 |
| ADP 411 a 1 | 4,15 | 6,74 | 138,3 | 759,9 | 87,7 | 70,3 | 316,4 | 2,50 | 41,0 | 28,2 | 0,31 |
| 3 | 1,85 | 1,96 | 184,9 | 342,9 | | | | 2,33 | 63,0 | 50,4 | 0,31 |
| ADP 411 b 1 | 7,64 | 9,70 | 678,9 | 1158,3 | 91,9 | 0,25 | 346,8 | 1,5 | 45,0 | 40,9 | 0,14 |
| 3 | 2,29 | 2,78 | 422,9 | 478,6 | | | | 1,0 | 65,0 | 69,4 | 0,28 |
| ADP 411 c 2 | 1,51 | 0,72 | 109,0 | 77,6 | 90,5 | 76,06 | 314,7 | 4,33 | 38,0 | 32,0 | 0,33 |
| 4 | 2,03 | 0,40 | 186,0 | 66,6 | | | | 3,33 | 61,0 | 39,3 | 0,44 |
| ADP 411 d 2 | 0,66 | 0,63 | 75,1 | 90,1 | 87,2 | 0,25 | 348,3 | 2,17 | 51,5 | 47,3 | 0,37 |
| 4 | 0,48 | 0,37 | 78,0 | 64,7 | | | | 1,43 | 63,5 | 57,9 | 0,40 |
| ADP 511 a 1 | 24,06 | 30,98 | 267,2 | 1720,6 | 117,0 | 261,5 | 156 | 45,43 | 19,2 | 5,4 | 0,1 |
| 3 | 12,83 | 8,24 | 391,9 | 640,7 | | | | 45,50 | (22,9) | 9,0 | 0,05 |
| ADP 511 b 2 | 22,11 | 13,06 | 595,5 | 2103,5 | 122,1 | 263,0 | 152,6 | 32,5 | 58,0 | 18,3 | 0,31 |
| 4 | 1,25 | 1,49 | 19,8 | 114,2 | | | | 33,75 | 28,9 | 10,7 | 0,08 |
| ADP 611 a 2 | 10,93 | 17,83 | 410,1 | 1980,5 | 123,7 | 66,0 | 214,5 | 1,93 | 40,0 | 35,4 | 0,175 |
| 4 | 6,10 | 6,87 | 838,5 | 1049,3 | | | | 2,50 | 56,2 | 35,8 | 0,225 |
| ADP 611 c 1 | 20,34 | 30,98 | 1270,9 | 4877,9 | 122,2 | 75,33 | 217,1 | 1,87 | 57,0 | 32,5 | 0,36 |
| 3 | 2,98 | 13,55 | 475,8 | 2874,8 | | | | 1,75 | 76,0 | 42,2 | 0,25 |
| ADP 711 a 2 | 5,93 | 15,10 | 98,8 | 1542,3 | 88,2 | 22,0 | 300,0 | 2,30 | 39,0 | 67,9 | 0,275 |
| 4 | 3,84 | 5,7 | 453,2 | 811,5 | | | | | 54,5 | 79,1 | 0,225 |
| ADP 711 b 2 | 6,63 | 11,79 | 220,9 | 720,3 | 64,9 | 0,33 | 332,5 | 2,95 | 22,0 | 75,7 | 0,135 |
| 4 | 3,48 | 4,85 | 265,7 | 383,8 | | | | 2,50 | 28,5 | 90,5 | (0,12) |
| ADP 711 c 1 | 26,79 | 27,04 | 177,8 | 2155,1 | 87,7 | 23,17 | 302,3 | 3,33 | 27,0 | 60,4 | 0,22 |
| 3 | 7,45 | 10,36 | 620,6 | 1337,8 | | | | 2,33 | 43,0 | 86,2 | 0,19 |
| ADP 711 d 1 | 24,68 | 25,72 | 554,8 | 656,6 | 61,2 | 0,35 | 332,9 | 4,17 | 17,0 | 66,4 | 0,13 |
| 3 | 4,43 | 4,93 | 193,1 | 338,1 | | | | 2,50 | 24,0 | 96,9 | 0,125 |

III.2. Essai "hétérogénéité de surface"

A D R 111

| Noms des pluies et parcelles | C _s g/l | C _x g/l | q _s g/s/ha | q _x g/s/ha | l _m mm/h | T _a H | ΣP _u mm | T _i mm | R _x mm/h | ΣLR mm | DS mm |
|------------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|------------------------|----------------|-----------------|
| ADR 311 b | 0,15 | 0,07 | 2,5 | 2,7 | 140,4 | 0,33 | 430,5 | 8,00 | 14,0 | 2,3 | 0,3 |
| ADR 511 b | 4,01 | 1,52 | 28,9 | 21,9 | 62,8 | 0,33 | 164,9 | 10,00 | 4,0 | 2,3 | 0,04 |
| ADR 611 a | 7,07 | 15,00 | 465,9 | 407,4 | 125,6 | 0,33 | 201,5 | 2,17 | 18,5 | 14,8 | 0,15 |
| ADR 611 b | 8,73 0,28 | 14,77 0,02 | 424,2 5,10 | 1214,1 0,9 | 124,4 | 0,33 | 263,7 267,9 | 1,53 12,0 | 29,9 15,0 | 28,5 4,7 | 0,16 0,35 |
| ADR 711 | 2,13 0,04 | 12,57 0,07 | 32,5 0,25 | 886,6 7,4 | 150,6 | ~ 48,0 | 283,5 304,5 | 4,83 17,00 | 25,0 (41) | 49,1 11,2 | 0,18 1,20 |
| ADR 811 | 8,28 0,05 | 10,69 0,01 | 413,9 0,6 | 801,5 0,4 | 93,1 | 0,43 | 397,6 | 2,02 3,00 | 27,0 16,0 | 75,7 29,4 | 0,15 0,56 |
| A D R 112 | | | | | | | | | | | |
| ADR 212 b | 0,07 0,33 | 0,03 0,15 | 1,9 5,7 | 1,0 2,5 | 121,5 | 0,33 | 251,5 251,5 | 9,67 7,00 | 12,0 6,4 | 3,25 2,0 | 0,2 0,1 |
| ADR 312 a | 0,26 0,64 | 0,04 0,03 | 1,6 5,3 | 1,1 0,5 | 147,0 | N 2 | 383,4 383,4 | 7,93 5,00 | 11,0 6,0 | 7,6 4,5 | 0,15 0,10 |
| ADR 512 a | 2,56 0,58 | 1,17 1,02 | 12,1 0,3 | 10,7 1,1 | 61,5 | 23,17 | 107,9 | 11,25 13,00 | 3,3 0,4 | 1,5 0,5 | 0,03 0,00 |
| ADR 512 b | 2,14 8,69 | 4,83 3,74 | 7,7 79,6 | 108,6 124,6 | 63,7 | 0,33 | 155,7 | 3,07 4,75 | 8,2 12,0 | 4,2 7,2 | 0,08 (0,075) |
| ADR 612 a | 7,83 7,69 | 18,96 16,05 | 445,7 619,3 | 1505,8 2339,9 | 121,0 | ~ 19,2 | 236,4 | 1,75 2,0 | 28,5 52,5 | 24,7 42,4 | 0,24 0,41 |
| ADR 612 b | 10,96 16,13 | 17,83 16,85 | 1050,0 255,3 | 1732,9 2947,9 | 121,0 | 0,58 | 317,1 | 1,25 1,50 | 35,0 63,0 | 47,8 82,0 | 0,30 - |
| ADR 712 | 7,71 12,23 | 8,21 12,95 | 428,2 169,8 | 1026,9 3380,4 | 149,4 | ~ 48 | 470,7 | 1,50 1,67 | 45,0 96,0 | 91,7 174,0 | 0,41 0,85 |
| ADR 812 | 5,99 7,23 | 18,07 10,91 | 460,7 200,77 | 1430,1 1817,8 | 88,0 | 5,0 | 579,7 | 1,33 1,50 | 28,5 60,0 | 120,7 231,7 | 0,29 0,975 |

A N N E X E I V

RESULTATS SUR LES CASES EXPERIMENTALES DE RUISSELLEMENT ET D'EROSION AU COURS DES DEUX PREMIERS CYCLES DE CUL- TURE D'ANANAS

IV.1. Ruissellement sous ananas mai 1975 en juillet 1976.

Ruissellement par traitement

| | Brûlis | Enfouis | Mulch | Nu |
|--------|--------|---------|-------|---------|
| | 243,30 | 55,20 | 31,46 | 1489,40 |
| | 146,10 | 32,23 | 2,10 | 1156,71 |
| | 249,93 | 115,11 | 30,13 | 976,75 |
| Total | 639,33 | 202,54 | 63,69 | 3622,86 |
| moy./3 | 213,11 | 67,51 | 21,23 | 1207,62 |
| KR % | 6,4 | 2,0 | 0,6 | 36,2 |
| KF % | 93,6 | 98,0 | 99,4 | 63,8 |

pluie totale de mai 1975 - en juillet 1976 = 3337,1 m/m

IV.2. Ruissellement sous ananas Août 1976 - Octobre 1977

Ruissellement par traitement - Cycle II

| | Brûlis | Enfouis | Mulch | Nu |
|------------|--------|---------|-------|---------|
| | 0,83 | 1,16 | 1,22 | 490,19 |
| | 11,20 | 1,46 | 0,27 | 372,21 |
| | 12,01 | 20,17 | 0 | 268,32 |
| Total | 24,04 | 22,79 | 1,49 | 1130,72 |
| Moyenne /3 | 8,01 | 7,60 | 0,50 | 376,91 |
| KR % | 0,6 | 0,6 | 0,03 | 28,1 |
| KF % | 99,4 | 99,4 | 99,97 | 71,9 |

pluie totale d'août 1976 - octobre 1977 = 1341,7 m/m

IV.3. Erosion par traitement et en fonction de la pente
 Mai 1975 en Juillet 1976 - Cycle I

| | Brûlis | Enfouis | Mulch | Nu | moy./4 fonction de la pente |
|--------|---------|---------|--------|----------|--------------------------------|
| | 1226,6 | 701,3 | 132,4 | 45035,2 | 11773,9 |
| | 4114,9 | 745,9 | 5,6 | 135777,9 | 35161,1 |
| | 68962,9 | 33161,5 | 997,6 | 409977,8 | 128275,0 |
| Total | 74304,4 | 34608,7 | 1135,6 | 590790,9 | 175210,0 |
| Moy./3 | 24768,1 | 11536,2 | 378,5 | 196930,3 | 58403,3 |

IV.4. Erosion par traitement et en fonction de la pente
Ananas 1977 (Cycle II)

| | Brûlis | Enfouis | Mulch | Nu | moy./4 fonction de la pente |
|--------|--------|---------|-------|----------|--------------------------------|
| | 4,9 | 8,7 | 9,5 | 27772,9 | 6949,0 |
| | 25,7 | 5,1 | 0,7 | 66042,0 | 16518,4 |
| | 53,4 | 935,5 | 0 | 197161,8 | 49537,7 |
| Total | 84,0 | 949,3 | 10,2 | 290976,7 | 73005,1 |
| Moy./3 | 28,0 | 316,4 | 3,4 | 96992,2 | 24335,0 |

Août 1976 - Octobre 1977

TABLE DES MATIERES

| | Pages |
|--|-------|
| INTRODUCTION | 1 |
| Première partie:: | |
| APPROCHES METHODOLOGIQUES | |
| I. Recherche d'une typologie pédologique adaptée aux problèmes de mise en valeur, à grande échelle | 2 |
| I.1. Présentation du problème | 2 |
| I.2. La collecte d'informations au niveau du profil | 2 |
| I.3. Segment fonctionnel et segment de contraintes | 4 |
| I.4. Conclusion | 6 |
| II. Utilisation de la simulation de pluies à l'étude de la conservation des sols et de l'eau | 7 |
| II.1. Présentation de l'étude | 7 |
| II.2. Etude critique des méthodes classiques | 7 |
| II.3. Etude critique de la simulation de pluies | 9 |
| II.3.1. ses avantages | 9 |
| II.3.2. ses problèmes | 9 |
| II.3.3. solutions diverses | 10 |
| a) les systèmes producteurs de gouttes | 10 |
| b) les gicleurs | 10 |
| II.4. Présentation des simulateurs de pluies utilisés en Côte d'Ivoire | 11 |
| II.4.1. le simulateur de pluies | 11 |
| II.4.2. l'infiltromètre à aspersion | |
| a) principe de l'appareil | 12 |
| b) description de l'infiltromètre | 13 |
| II.5. Energie cinétique des pluies simulées | 13 |
| II.5.1. les intensités | 13 |
| II.5.2. la taille des gouttes | 14 |
| a) calibrage des gouttes | 14 |
| b) résultats | 14 |
| c) comparaison avec les pluies naturelles | 15 |

| | |
|---|----|
| II.5.3. les vitesses d'impact au sol | 16 |
| a) infiltromètre | 16 |
| b) simulateur de pluies | 22 |
| II.5.4. énergie cinétique | 25 |
| a) calculs et résultats | 25 |
| b) comparaison avec les pluies naturelles | 27 |
| II.6. Conclusion | 28 |
| Deuxième partie : | |
| ETUDE DE QUELQUES SOLS FERRALLITIQUES DE COTE D'IVOIRE | 29 |
| LE DOMAINE DU SOCLE PRECAMBRIEN | 29 |
| I. Etude des facteurs climatiques et géologiques sur la formation des sols et des modelés de quelques toposéquences | 29 |
| I.1. Différenciations climatiques : exemple de trois toposéquences sur schistes | 30 |
| I.1.1. données géologiques | 31 |
| I.1.2. données climatiques | 31 |
| I.1.3. action sur le modelé | 32 |
| I.1.4. action sur les sols | 33 |
| I.1.5. action sur la végétation | 38 |
| I.2. Différenciations géologiques : exemple de trois toposéquences de la région de Katiola | |
| I.2.1. données géologiques | 38 |
| I.2.2. données climatiques | 39 |
| I.2.3. action sur le modelé | 39 |
| I.2.4. action sur les sols | 40 |
| I.2.5. action sur la végétation | 42 |
| I.3. Conclusion | 42 |
| II. Caractérisations physiques et biologiques d'une toposéquence sur schiste de la région de Katiola | 44 |
| II.1. Approches physiques | 44 |
| II.1.1. la cohésion du sol | 44 |
| II.1.2. les réserves en eau | 49 |
| II.1.3. le ruissellement | 50 |
| II.1.4. érodibilité | 54 |
| II.1.5. dynamique de surface | 55 |

| | |
|--|----|
| II.2. Approches biologiques | 56 |
| II.2.1. populations de vers de terre | 56 |
| II.2.2. activité des germes nitrificateurs | 57 |
| II.2.3. densité racinaire | 59 |
| II.3. Conclusion | 60 |
| III. Interprétations agronomiques | 62 |
| III.1. Exemple de la toposéquence sur schiste de la région de Katiola | 62 |
| III.2. Perspectives régionales | 65 |
| III.2.1. conditions humaines | 65 |
| III.2.2. conditions pédo-climatiques | 66 |
| III.2.3. les cycles culturaux | 67 |
| III.2.4. remarques générales | 69 |
| III.2.5. les principaux aménagements | 69 |
| III.3. Conclusion | 70 |
| LE DOMAINE DES SABLES TERTIAIRES | 72 |
| I. Approches descriptives | 72 |
| I.1. Le modelé | 72 |
| I.2. Les principaux types de sols | 73 |
| II. Approches expérimentales | 75 |
| II.1. Analyse des facteurs "longueur de pente" et "hétérogénéité du couvert végétal" sur le ruissellement et l'érosion | 76 |
| II.1.1. présentation de l'étude | 76 |
| II.1.2. définition des principaux symboles utilisés | 76 |
| II.1.3. dispositifs et protocoles expérimentaux | 78 |
| II.1.4. dépouillement des données de base | 79 |

| | |
|--|-----|
| II .2.4. évolution des résidus végétaux : étude des restitutions | 113 |
| II.2.4.1. protocole | 113 |
| II.2.4.2. évolution des matières sèches | 114 |
| II.2.4.3. conclusion | 117 |
| II.2.5. les pertes par lixiviation | 118 |
| II.2.5.1. dispositif expérimental | 118 |
| II.2.5.2. résultats des études lysimétriques | 118 |
| II.2.5.3. dynamique de la lixiviation | 122 |
| II.2.6. remarques sur l'économie des éléments fertilisants | 125 |
| II.2.7. rendements | 126 |
| II.2.8. mesures annexes | 127 |
| II.2.8.1. mesures physiques | 128 |
| II.2.8.2. mesures biologiques | 129 |
| III. Interprétations agronomiques | 134 |
| III.1. Conservation des sols | 134 |
| III.1.1. sur les parcelles de la SOCABO | 134 |
| III.1.2. sur les parcelles de la S.A.L.C.I. | 135 |
| III.2. Economie des éléments fertilisants | 136 |
| III.2.1. les restitutions | 137 |
| III.2.2. les engrais | 137 |
| III.3. Choix des techniques culturales | 138 |
| III.3.1. brûlis | 138 |
| III.3.2. mulch | 138 |
| III.3.3. enfouissement | 139 |
| III.3.4. labour | 139 |
| CONCLUSION | 141 |
| BIBLIOGRAPHIE | |

| | |
|---|-----|
| II.1.4.1. caractéristiques des pluies | 79 |
| II.1.4.2. caractéristiques du ruissellement | 80 |
| II.1.4.3. caractéristiques de l'érosion | 81 |
| II.1.4.4. analyse et modélisation de l'évolution des turbidités sous pluies simulées | 81 |
| II.1.4.5. conclusion | 89 |
| II.1.5. analyse des facteurs topographiques sur les pertes en terre | 89 |
| II.1.5.1. but de l'étude | 89 |
| II.1.5.2. résultats | 90 |
| II.1.5.3. détermination de l'effet "longueur de pente" | 92 |
| II.1.5.4. détermination du facteur érodibilité K | 93 |
| II.1.6. étude de l'hétérogénéité du couvert végétal | 95 |
| II.1.6.1. couverture du sol : facteur C | 95 |
| II.1.6.2. distribution de la végétation le long de la pente | 98 |
| II.1.7. étude sommaire du ruissellement | 100 |
| II.1.8. conclusions | 102 |
| II.1.8.1. concernant la méthodologie d'étude de l'érosion | 102 |
| II.1.8.1. concernant l'utilisation agricole des résultats | 103 |
| II.2. Recherche d'amélioration des techniques culturales de l'ananas | 103 |
| II.2.1. présentation de l'étude | 103 |
| II.2.2. conditions climatiques | 105 |
| II.2.3. infiltration, ruissellement et érosion | 106 |
| II.2.3.1. les parcelles expérimentales | 106 |
| II.2.3.2. évolution du couvert végétal | 106 |
| II.2.3.3. infiltration et ruissellement | 108 |
| II.2.3.4. turbidités | 109 |
| II.2.3.5. érosion | 110 |