

ÉTUDE PÉDOLOGIQUE DES BASSINS VERSANTS DES VOLTA BLANCHE ET ROUGE EN HAUTE-VOLTA

par

B. KALOGA*

AVANT-PROPOS

But et intérêt de l'étude

La reconnaissance pédologique des bassins versants des Volta Blanche et Rouge a été entreprise à la demande du Service du Génie rural de la République de Haute-Volta. Elle a fait l'objet d'une convention par entente directe entre le Gouvernement de ce pays et l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer.

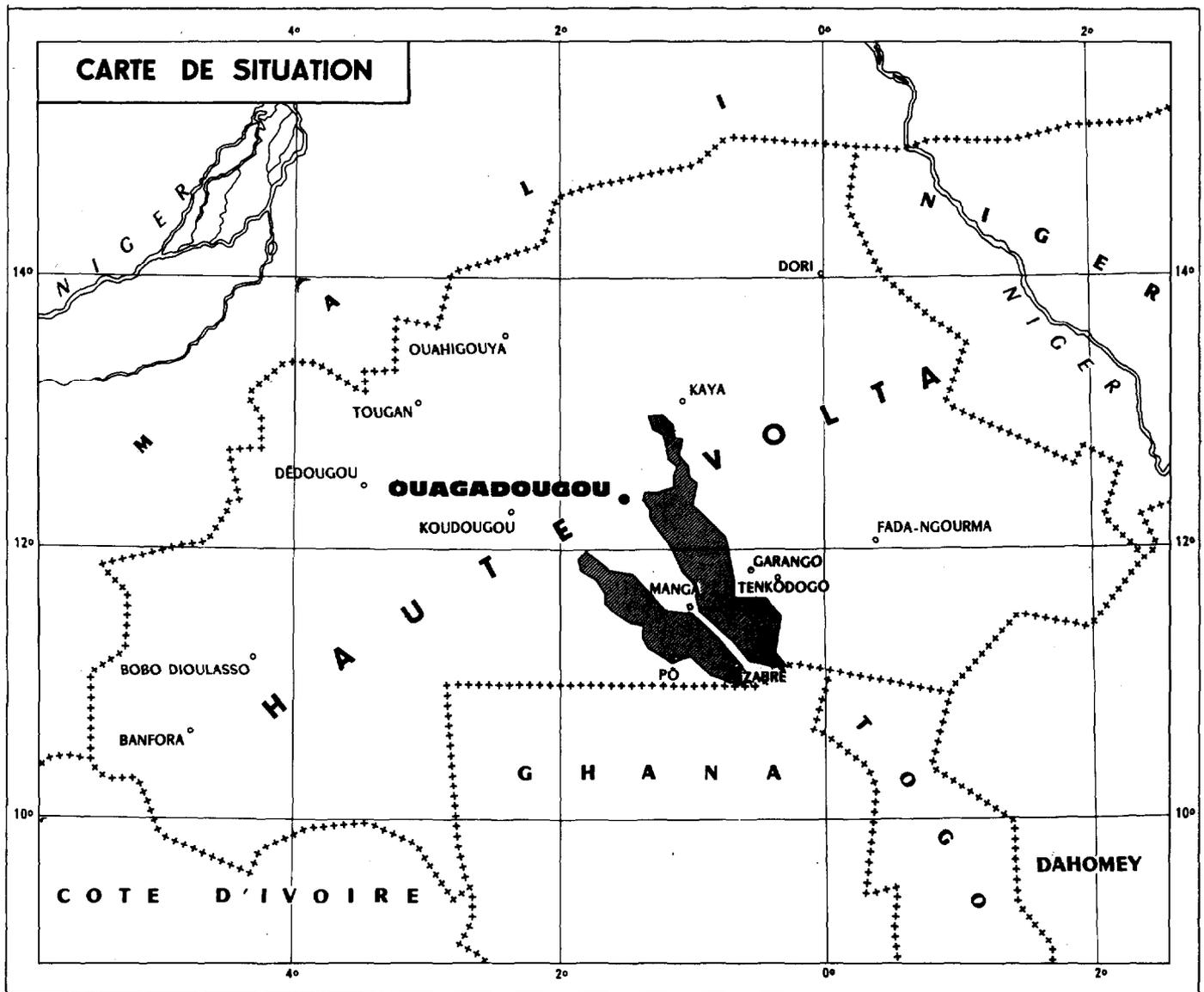
Les vallées des fleuves et des grandes rivières présentent toujours un vif intérêt agricole par l'espoir que l'on a de pouvoir y trouver des alluvions fertiles. C'est ainsi que cette prospection avait pour but de préciser la nature et la répartition des sols dans des zones généralement inhabitées, insalubres, mal connues et qui pouvaient être considérées comme les éventuelles vallées des Volta. Au point de vue scientifique, cet inventaire et cette étude des sols dans des régions à climat soudanien où affleure partout un socle birrimien très complexe, présentent aussi un intérêt certain.

Réalisation pratique

La mission pédologique O.R.S.T.O.M. en Haute-Volta sous le contrôle scientifique de R. FAUCK, Directeur du Centre O.R.S.T.O.M. de Dakar, était dirigée par B. KALOGA, pédologue de l'O.R.S.T.O.M. Les travaux de terrain ont été faits avec l'aide de M. MERCKY (agent technique) et avec la collaboration temporaire de D. AW et de G. CLAISSE.

Les analyses d'argiles ont été effectuées par le laboratoire de Géologie et de Paléontologie de l'Université de Strasbourg.

* Chargé de recherches O.R.S.T.O.M. Centre de Hann-Dakar.



Les analyses triacides et les bases totales ont été effectuées par le laboratoire des sols des Services Scientifiques Centraux de l'O.R.S.T.O.M. à Bondy.

Résultats acquis

Cette étude a permis la réalisation d'une carte pédologique au 1/200 000 en couleurs avec un calque de localisation des profils de sols et des agglomérations limitrophes. Cette carte est accompagnée, pour la République de Haute-Volta, d'un rapport pédologique de convention à vocation essentiellement utilitaire (KALOGA, 1964) et qui lui sert en quelque sorte de notice d'utilisation.

Nous avons rédigé ensuite un rapport pédologique à vocation scientifique axé sur l'étude aussi approfondie que possible de la pédogénèse (KALOGA, 1965). Ce sont les éléments essentiels de ce rapport qui sont repris dans cette étude.

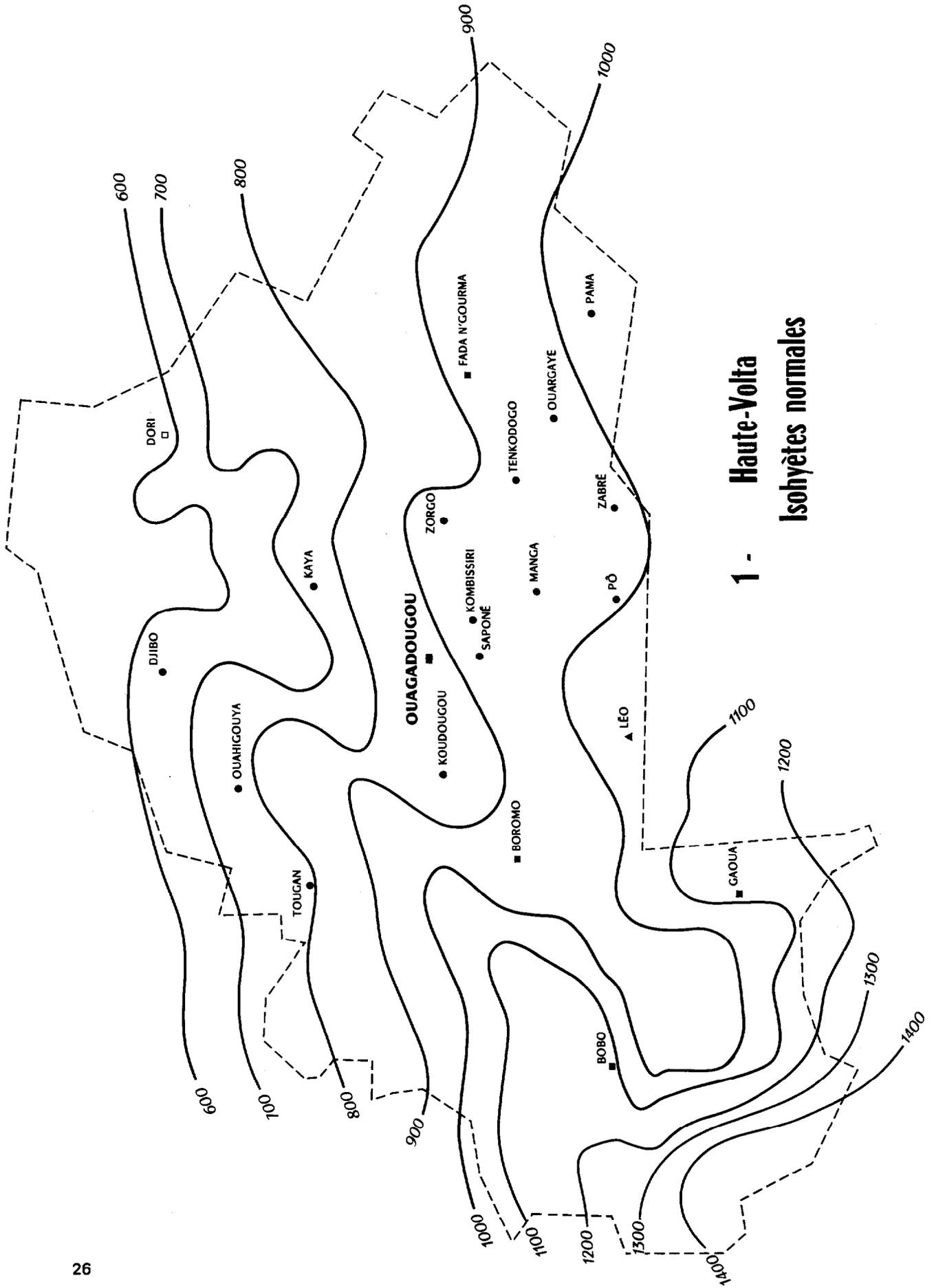
Plan de l'étude

Nous distinguerons quatre parties :

- a - dans la première partie, constituée par le présent article, nous étudierons le milieu naturel en insistant surtout sur son influence pédogénétique. La géomorphologie, par son rôle essentiel dans la compréhension et l'interprétation des phénomènes de pédogénèse, constitue le chapitre principal de cette première partie.
- b - dans la deuxième partie, nous étudierons une grande entité de sols, les Vertisols, en insistant particulièrement sur les problèmes de leur différenciation et de leur classification ;
- c - la troisième partie sera consacrée aux sols associés au même type d'altération que les Vertisols : les Sols Bruns eutrophes, et Sols Halomorphes (sols non salés à complexe absorbant sodique où le sodium a une origine pétrographique) ;
- d - la quatrième partie sera consacrée aux Sols Hydromorphes (Pseudogley de profondeur à taches et concrétions). Il s'agira essentiellement de l'étude des sols de type ferrugineux tropical développés sur des apports polyphasés. Ces sols réalisent, grâce aux héritages anciens, des pseudoprofils de sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions.

Plan de la première partie

- 1 - Situation géographique
- 2 - Climat
 - 2.1 - Caractéristiques générales
 - 2.2 - Caractéristiques pédogénétiques
- 3 - Végétation
- 4 - Géologie
 - 4.1 - Les roches
 - 4.2 - L'altération des roches et ses conséquences
- 5 - Géomorphologie
 - 5.1 - Les formes du relief
 - 5.2 - La genèse du relief
 - 5.3 - Le réseau hydrographique
 - 5.4 - Conclusion



1 - Haute-Volta
Isohyètes normales

1^{re} partie : Le milieu naturel

1 - SITUATION GÉOGRAPHIQUE

Bien situées par leur dénomination, approximativement limitées au nord par les parallèles 13° nord (Volta Blanche) et 12° nord (Volta Rouge), au sud par les parallèles 11°10 nord (Volta Blanche et Volta Rouge), les zones prospectées s'étirent de part et d'autre des Volta, comprenant essentiellement les régions inhabitées et généralement constituées en forêts classées (voir carte de situation).

Elles se situent essentiellement sur les feuilles au 1/200 000 de Ouagadougou, Tenkodogo et Pô. La feuille de Boulsa n'en porte qu'une très faible partie.

2 - LE CLIMAT

2.1 - Caractéristiques générales

Parmi les agglomérations limitrophes, seule Ouagadougou est l'objet de données climatologiques complètes. Il n'existe pour les autres que des données pluviométriques vieilles de plus de quarante ans pour Kaya et Tenkodogo (1921), d'une vingtaine d'années pour Pô (1942), d'une dizaine d'années environ pour Manga et Garango, et beaucoup plus récentes pour Zabré dont les normales ne peuvent même pas être calculées.

La figure 1 représente la carte des isohyètes normales sur l'ensemble du territoire de Haute-Volta (*): Zabré y occupe la même position que Pô.

La figure 2 représente les données climatologiques concernant Ouagadougou : température, tension de vapeur d'eau et déficit de saturation.

La figure 3 groupe les diagrammes pluviométriques des six stations.

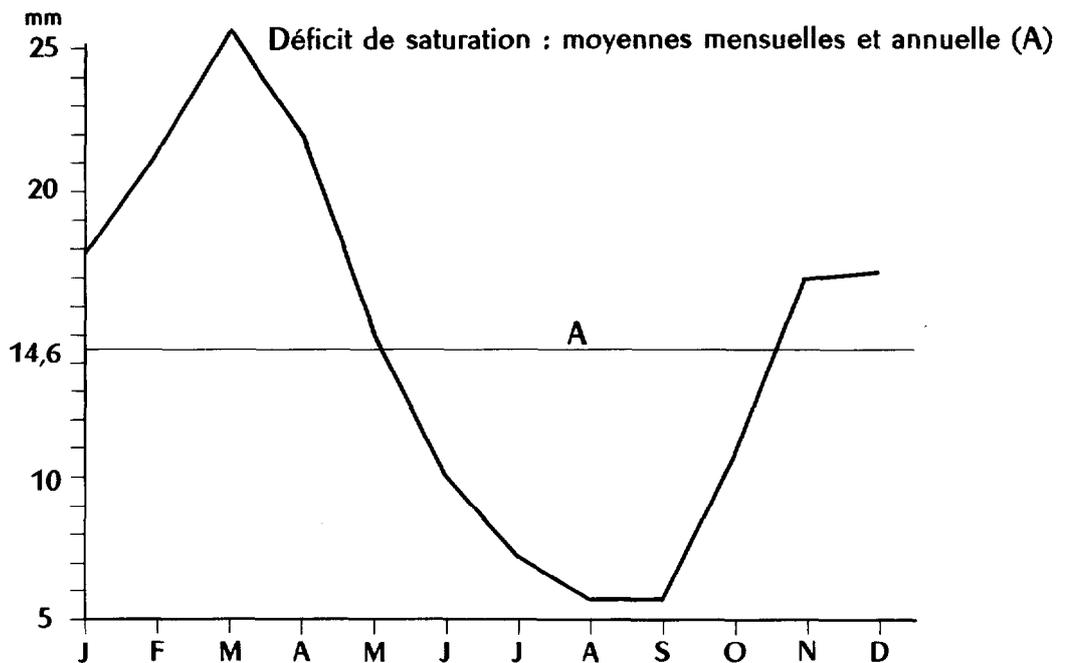
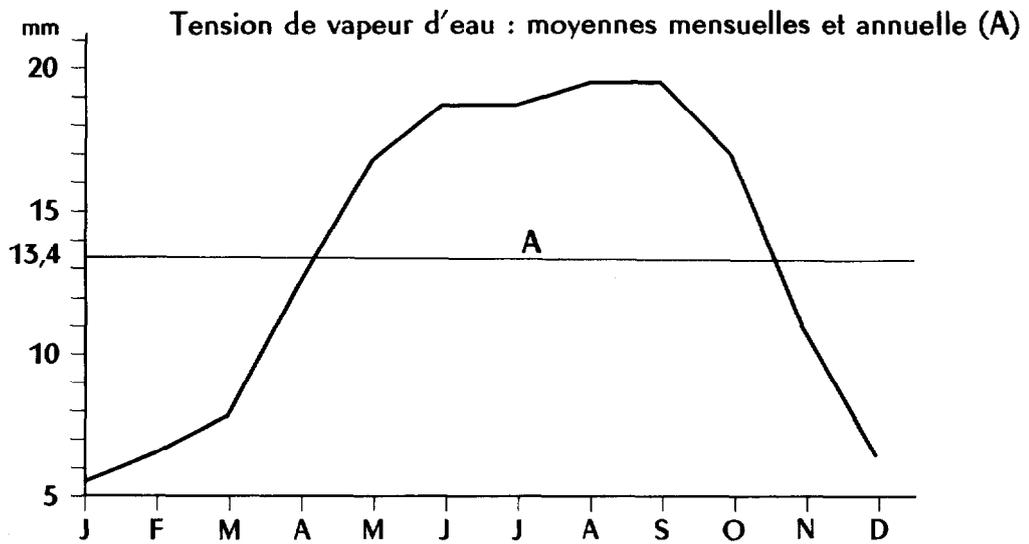
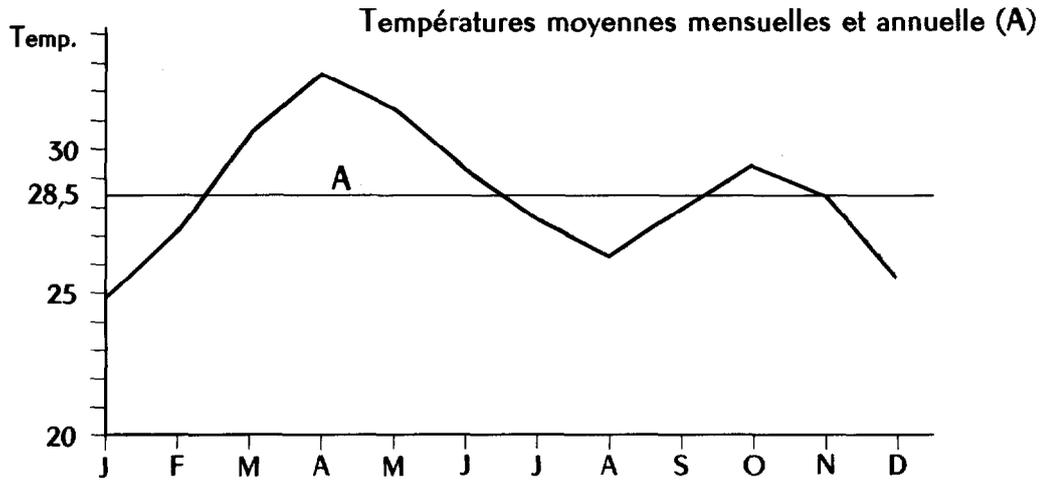
L'indice des saisons pluviométriques, tel qu'il est défini par AUBREVILLE (1949) et qui indique dans l'ordre : le nombre de mois pluvieux (chutes mensuelles égales à 100 mm et plus), le nombre de mois intermédiaires (chutes mensuelles comprises entre 100 et 30 mm), et le nombre de mois écologiques secs (chutes mensuelles inférieures à 30 mm) se répartit ainsi du nord au sud :

- Kaya	3 - 2 - 7	Climat sahélo-soudanais (AUBREVILLE)
- Ouagadougou	4 - 2 - 6	" " "
- Manga	4 - 3 - 5	" " "
- Garango	4 - 3 - 5	" " "
- Tenkodogo	4 - 3 - 5	" " "
- Pô	5 - 2 - 5	Climat soudano-guinéen (AUBREVILLE)

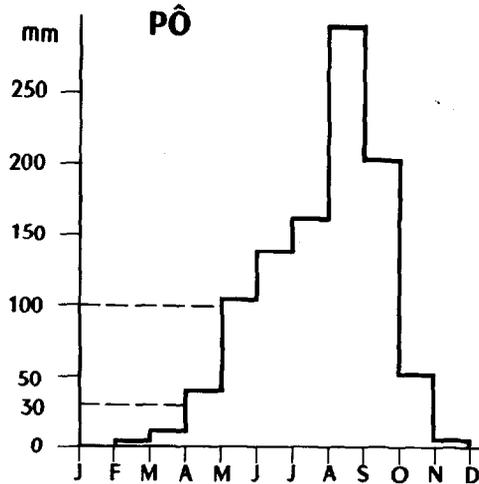
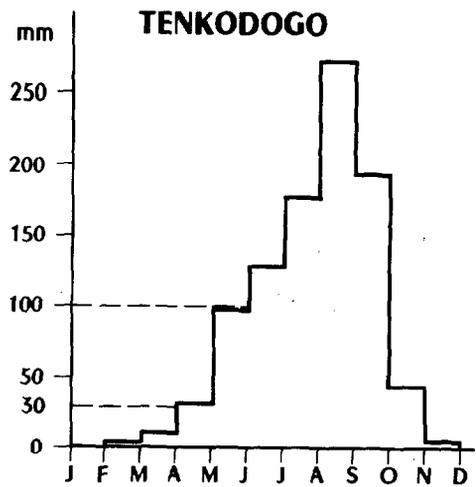
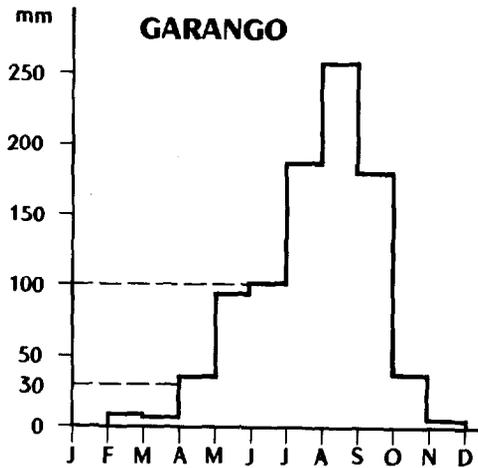
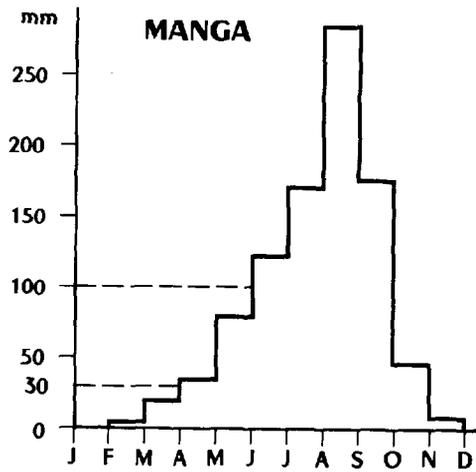
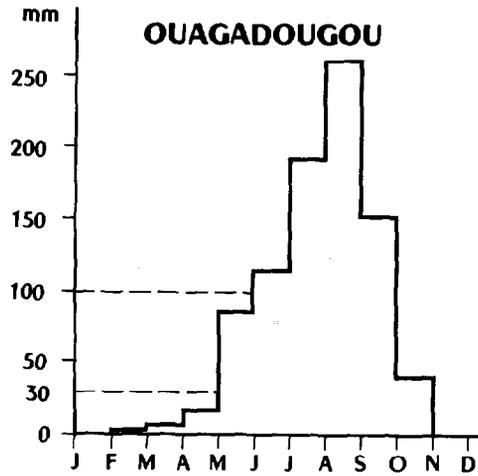
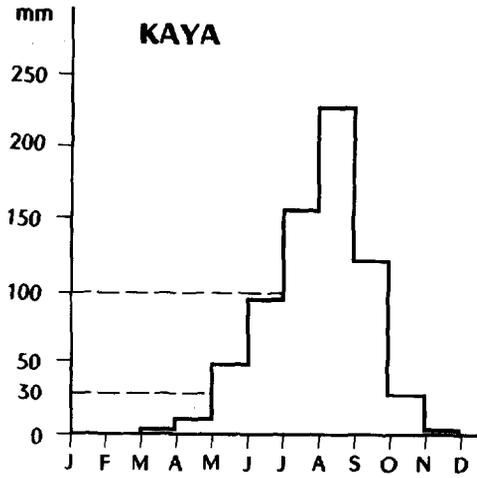
Les conditions écologiques s'améliorent du nord au sud : la saison sèche passe de sept à cinq mois.

* Communiquées par l'ASECNA, Direction de l'exploitation météorologique. Service Technique régional météorologique de l'A.O. Dakar-Yoff.

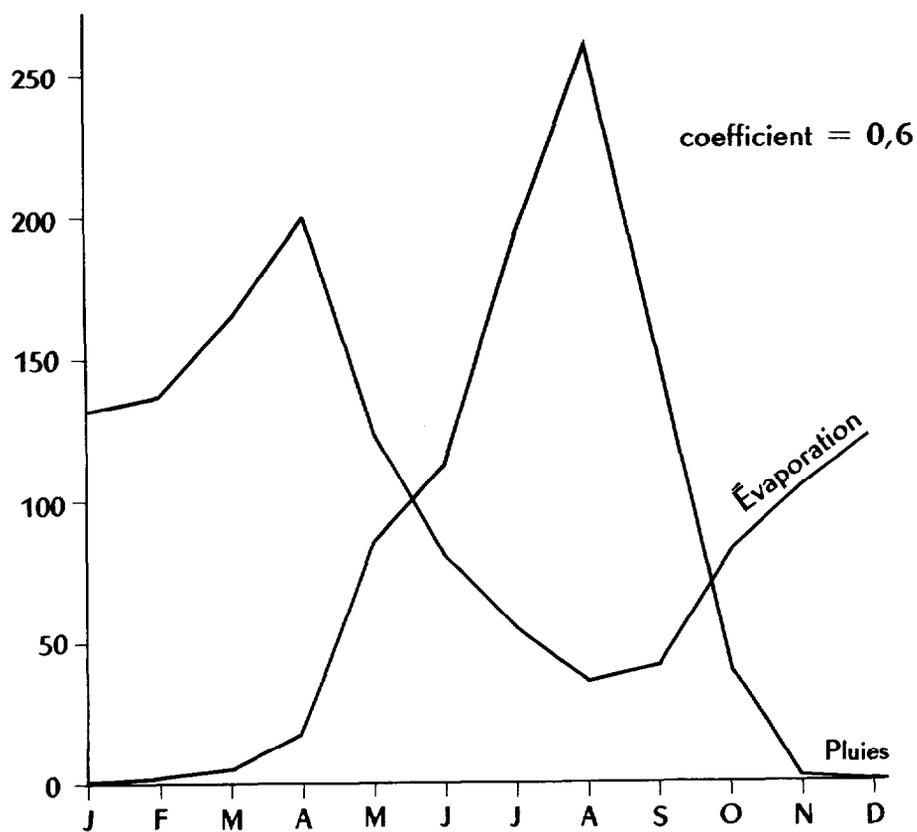
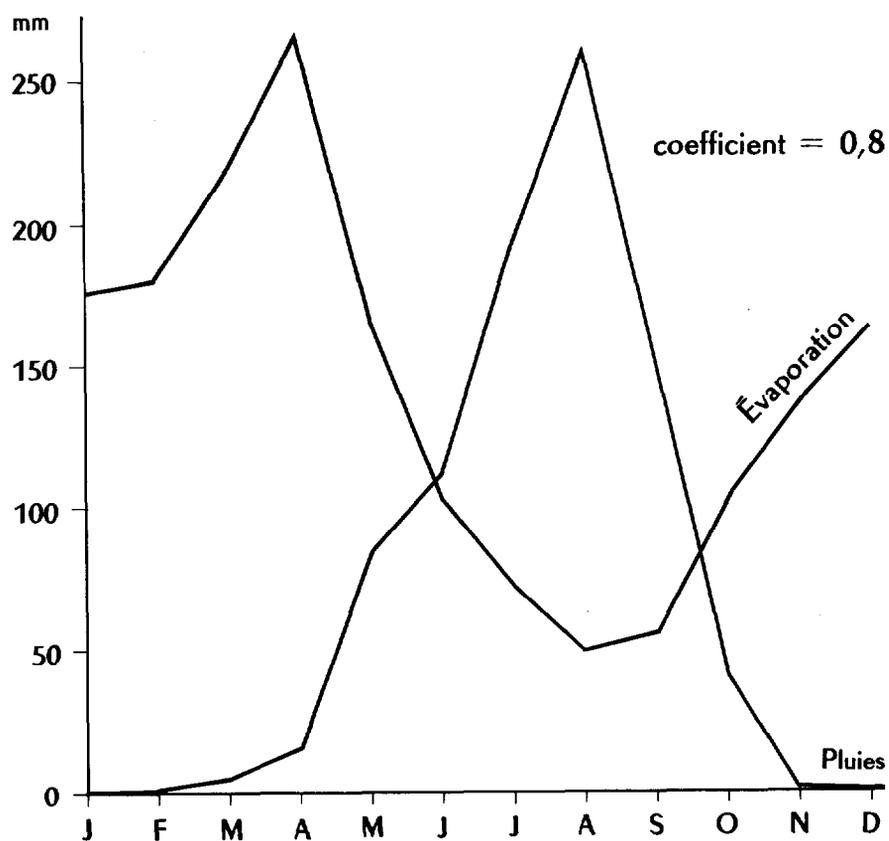
2 - Climatologie de OUAGADOUGOU



3 - Pluviométrie



4 - Estimation du drainage mensuel OUAGADOUGOU



Du climat sahélo-soudanais typique représenté par Ouagadougou, nous passons progressivement à P8, au climat soudano-guinéen typique, tels qu'ils sont définis par leurs indices des saisons pluviométriques.

L'interprétation des données climatologiques de Ouagadougou (climat sahélo-soudanais) fait apparaître un climat particulièrement contrasté, aux variations élevées de température et excessives d'humidité. En saison des pluies, le déficit de saturation s'abaisse à 5,7 mm, alors qu'en saison sèche, sous l'influence de l'harmattan, il atteint des valeurs excessives de l'ordre de 20 à 26 mm ; la sécheresse est alors totale.

Le climat soudano-guinéen est moins contrasté, l'amplitude thermique est faible à moyenne (4° à 6°), celle de la tension de vapeur d'eau est forte (9,5 à 12,7 mm), celle du déficit de saturation est forte à très forte (7 à 17 mm).

2.2 - Caractéristiques pédogénétiques

Nous retiendrons trois caractéristiques essentielles :

- la décomposition de la matière organique et l'altération des roches ;
- le drainage calculé : évolution et lessivage des sols ;
- l'érosion.

2.2.1 - DÉCOMPOSITION DE LA MATIÈRE ORGANIQUE ET ALTÉRATION DES ROCHES

Aux deux saisons du climat correspondent deux phases pédogénétiques. Pendant la saison des pluies, l'humidité abondante et la température élevée sont des facteurs très favorables à une décomposition rapide de la matière organique. Dans ces conditions de température et d'humidité, les produits de cette décomposition provoquent une mobilisation intense du fer et du manganèse. Ce sont là les caractéristiques pédologiques essentielles de ces zones.

Pendant la saison sèche, la dessiccation provoque une immobilisation des hydroxydes individualisés. L'altération chimique dispose de très bonnes conditions. Si l'intensité est élevée, le degré d'altération lui, dépend de la nature de la roche-mère (voir l'altération des roches au chapitre de la géologie).

2.2.2 - DRAINAGE CALCULÉ : Évolution et lessivage des sols

2.2.2.1 - Indice de drainage calculé AUBERT-HENIN

$$D = \frac{\alpha \gamma p^3}{1 + \alpha \gamma p^2}$$

où D est le drainage annuel,

P la pluviométrie annuelle en mètres,

α un coefficient variant de 0,5 à 2 selon la perméabilité du matériau originel,

γ un coefficient dépendant de la température moyenne annuelle T :

$$\gamma = \frac{1}{0,15 T - 0,13}$$

Pour une valeur moyenne de $\alpha = 1$, nous obtenons pour Ouagadougou un drainage calculé de 133 cm, chiffre qui nous situe avec la température moyenne annuelle de 28°5 en milieu typiquement "ferrugineux tropical".

Mais, étant donné la répartition très irrégulière des pluies, il est plus intéressant d'évaluer le drainage mensuel de chacun des mois pluvieux.

2.2.2.2 - Drainage mensuel

Dans un bilan simplifié où l'on ne tient pas compte du ruissellement, on peut considérer que le drainage est la différence entre les précipitations et l'évaporation.

L'évaporation potentielle, définie comme la quantité d'eau évaporée par un sol garni de végétation et bien pourvu en eau, a été estimée par SCHOFIELD (1950) égale à l'évaporation d'une nappe libre multipliée par un coefficient constant variant de 0,6 à 0,8. Les résultats sont portés sur la figure 4 pour les valeurs 0,6 et 0,8 du coefficient constant.

On voit que les possibilités de drainage mensuel, donc de lessivage possible, sont limitées aux trois mois de juillet, août et septembre, le mois de juin étant marginal surtout si l'on tient compte du ruissellement intense.

Ces trois mois de drainage, qui sont aussi les trois mois essentiels de l'évolution pédologique dynamique, correspondent à des périodes d'excès d'eau, qui vont déterminer très facilement des phénomènes d'hydromorphie. Avec de si grosses quantités d'eau, le drainage interne lié à la position topographique et à la nature du matériau originel et de la roche-mère va jouer un grand rôle dans la différenciation des sols. Ainsi s'explique la facile hydromorphie dans les zones soudanaises à modelé très plat (pentes souvent de l'ordre de 1%), où la nappe hydrostatique très fluctuante monte généralement haut dans le profil en saison des pluies. Il ne faut pas s'étonner de l'importance de l'hydromorphie se superposant presque constamment ou masquant même le phénomène de ferruginisation tropicale. Il serait même probablement logique de penser qu'elle est un phénomène normal de ces zones. DRESCH (1953), évoquant les plaines soudanaises, qualifie les rivières de "dépressions planes constituant un réseau confus et paraissant étrangères aux paysages", "elles ne constituent pas l'axe d'un réseau hydrographique organisé, elles ne rassemblent pas les eaux de la plaine, aussi le déficit d'écoulement est-il énorme". Il qualifie l'écoulement d'endoréique pour une bonne part, dès que l'on s'écarte des rives.

2.2.3 - ÉROSION

L'érosion hydrique du sol, résultant du détachement des particules de terre sous l'influence des précipitations et du ruissellement, et du transport de ces particules grâce au ruissellement, est particulièrement exaltée par le régime pluviométrique de type sahélo-soudanais. Les premières pluies tombent sous forme de tornades sur un sol généralement dénudé par les feux de brousse, en-croûté en surface à la suite d'une longue sécheresse. Le ruissellement est donc maximum.

Par ailleurs, les pluies tombent généralement sous forme d'averses. Le premier tableau ci-dessous donne pour Kaya, Ouagadougou et Tenkodogo, la fréquence moyenne annuelle des fortes pluies (période 1920-1949).

	50 mm	100 mm	200 mm
Kaya	0,83	0,03	0
Ouagadougou	1,43	0,07	0
Tenkodogo	2,77	0,21	0

A Ouagadougou, il y a en moyenne trois jours à pluviométrie supérieure à 50 mm tous les deux ans, tandis que, tous les quinze ans, il y a un jour à pluviométrie supérieure à 100 mm.

A Tenkodogo, ces chiffres sont de près de trois jours à pluviométrie supérieure à 50 mm tous les ans, et un jour à pluviométrie supérieure à 100 mm tous les cinq ans.

Une autre caractéristique du climat sahélo-soudanais est la répartition inégale des précipitations concentrées en quelques mois pluvieux : c'est un facteur essentiel de l'érosion hydrique. Elle est la base de la formule de FOURNIER (1958) permettant d'évaluer la dégradation spécifique DS en tonnes par km² et par an :

$$DS = 27,12 \frac{p^2}{P} - 475,4$$

p est la pluviométrie du mois le plus arrosé
P est la pluviométrie annuelle.

Le tableau suivant donne, pour les principales stations, les valeurs de p²/P avec les valeurs correspondantes de la dégradation spécifique et de l'ablation annuelle supposée uniformément répartie.

	$\frac{p^2}{P}$	DS	Ablation annuelle en mm
Kaya	76	1 586	0,63
Ouagadougou	78,5	1 654	0,66
Manga	85,9	1 854	0,74
Garango	72,7	1 496	0,59
Tenkodogo	76,7	1 605	0,64
P8	85,8	1 852	0,74

Il s'agit là de l'ablation normale, c'est-à-dire de la perte de terre définitive de régions étendues, résultante d'actions plus accélérées en certains points, plus lentes ou négatives en d'autres points.

FOURNIER, en concordance avec les constatations faites par HENIN, MICHON et GOBILLOT (*) arrive à une évaluation, pour les terrains les plus érodibles, 100 fois supérieure à l'érosion normale. Il estime que les valeurs d'érosion qu'on peut enregistrer lors de la culture continue d'une plante non protectrice, doivent avoisiner les valeurs d'érosion accélérée.

On voit que l'érosion peut être ici à l'échelle d'une génération et qu'elle peut constituer un facteur limitant de la fertilité.

On observe ici trois formes d'érosion : l'érosion en nappe, l'érosion en rigoles et l'érosion en ravines.

L'érosion en nappe se manifeste par un exhaussement des touffes graminéennes, un enrichissement résiduel en produits grossiers (sables grossiers, gravillons ferrugineux, cailloux de quartz) souvent groupés par plages. Elle se transforme en érosion en ravines le long des moindres chemins et des pistes.

Résultat d'une énergique reprise d'érosion, le ravinement sévit le long des moindres petits ruisseaux. Il menace de nombreux chemins et rend la pénétration très difficile dans les bassins versants (feuille de Tenkodogo surtout). Les têtes de ravins sont parfois constituées par de larges niches de décrochement.

* cités par F. FOURNIER.

3 - LA VÉGÉTATION

La végétation est étroitement liée aux caractéristiques hydriques des sols, alors que leur richesse en éléments fertilisants semble intervenir peu. Les caractéristiques hydriques sont elles-mêmes sous la dépendance de la nature des argiles et du climat.

Ainsi dans les sols à kaolinite dominante ou exclusive, la végétation suit les variations climatiques, tandis que dans les sols à montmorillonite dominante ou exclusive (Vertisols et Sols Halomorphes), les caractères physiques imprimés au sol par les argiles amortissent les différences climatiques.

Nous distinguerons successivement :

- la végétation des sols à kaolinite dominante ou exclusive,
- la végétation des Vertisols,
- la végétation des Sols Halomorphes.

3.1 - La végétation des sols à kaolinite dominante ou exclusive

Nous distinguerons trois zones de végétation : au centre une zone soudanienne, à l'extrême nord une zone à affinités soudano-sahéliennes et au sud une zone à fortes affinités soudano-guinéennes.

3.1.1 - L'EXTRÊME NORD

Ici la végétation naturelle a été très dégradée par une intense colonisation humaine. La savane parc anthropique à *Butyrospermum Parkii* avec *Poupartia birrea* ou *Lannea microcarpa*, accompagnés de repousses de *Bauhinia sp.*, *Acacia seyal*, *Ziziphus sp.*, occupe fréquemment les champs. Elle fait parfois place à la savane parc anthropique à *Faidherbia albida*. Ailleurs, les espèces assez caractéristiques de la zone soudano-sahélienne se rencontrent fréquemment. Elles sont, par ordre d'abondance : *Bombax costatum*, *Combretum micranthum*, *Poupartia birrea*, *Acacia seyal*, *Lannea acida microcarpa*, *Balanites aegyptiaca*.

Les bourrelets alluviaux sont généralement caractérisés par une savane parc à *Bombax costatum*, *Poupartia birrea*, *Combretum micranthum*, *Acacia seyal*, *Ziziphus sp.*, *Bauhinia sp. (reticula)*, *Balanites aegyptiaca*.

Les sols argilo-sableux souvent gravillonnaires plus ou moins mal drainés en profondeur, reposant ou non sur la cuirasse ancienne, portent le plus fréquemment la savane parc anthropique à *Karité (Butyrospermum Parkii)* avec *Poupartia birrea* et de nombreuses repousses de *Bauhinia sp.*

Les sols Bruns eutrophes portent souvent une savane parc à *Faidherbia albida*, *Lannea acida microcarpa* ou, à *Karité*, *Lannea acida microcarpa*, *Poupartia birrea*.

Les cuirasses affleurantes sont généralement, soit totalement nues - vastes champs de pierres et de cailloux absolument plats -, soit recouvertes d'une végétation herbeuse dense, à base essentiellement de *Loudetia togoensis*.

3.1.2 - LE CENTRE

Aux environs de la route Ouagadougou-Kaya, on ne rencontre déjà plus de cuirasses nues ou à *Loudetia togoensis*, les sols gravillonnaires peu profonds sur cuirasse portent essentiellement une savane arbustive à base de *Combretum glutinosum* avec *Acacia sp.*, *Spondia noblin*, *Guiera senegalensis*, quelques *Anogeissus leiocarpus* et *Bombax costatum*, ou une savane parc à *Karité (Buty-*

rospermum Parkii) avec *Landolphia senegalensis* où *Andropogon gayanus*, *Loudetia togoensis*, *Hyparrhenia sp.*, *Pennisetum cenchroides* se partagent la strate herbacée.

Aux environs de Limnoghin apparaît déjà, sur les sols à cuirasse et carapace, la savane boisée à *Anogeissus leiocarpus*, *Bombax costatum*, ou la savane parc à Karité avec *Anogeissus leiocarpus*, *Combretum glutinosum*, *Terminalia glaucescens*, *Combretum micranthum*, *Gardenia sp. (aqualla)*, *Pseudocedrela Kotschy*, *Bauhinia sp.*, toutes ces espèces étant très abondantes ; quelques arbres peuvent en émerger : Karité, quelques *Isoberlinia doka*.

Le long des marigots apparaît le *Daniellia oliveri* en savane arborée avec le Karité et des *Terminalia sp.* arborescents.

3.1.3 - LE SUD

Dans la région de Pô, la prédominance de la savane arborée à *Isoberlinia doka*, et *Isoberlinia Dalzielii* sur les carapaces, donne à cette zone un caractère soudano-guinéen.

Le *Burkea africana* forme aussi des savanes boisées en peuplements presque purs.

Sur les cuirasses, *Isoberlinia*, *Detarium microcarpum*, *Burkea africana* sont très abondants par deux ou par trois. Mais on peut trouver aussi la savane arborée à *Pterocarpus erinaceus*, *Anogeissus leiocarpus*, *Isoberlinia sp.* Karité (région de Pô).

Les sols à pseudogley de profondeur à concrétions sur arène granitique argilo-sableuse portent une savane arborée à base d'*Isoberlinia sp.*, *Burkea africana*, Karité, *Detarium microcarpum*, *Terminalia glaucescens*. Lorsque leur végétation est plus dégradée, c'est une savane typique très arbustive à arborescente, où Karité, *Gardenia aqualla*, *Pteleopsis suberosa*, *Terminalia glaucescens* se disputent la première place, ils sont accompagnés de *Daniellia oliveri*. Parfois, on a des peuplements arbustifs purs à *Gardenia aqualla*.

Le long des marigots, c'est le plus classiquement la savane arborée dense à *Anogeissus leiocarpus*, *Pterocarpus erinaceus* ou *Daniellia oliveri*.

3.2 - La végétation des Vertisols

La végétation de ces sols reste insensible ici aux variations de pluviométrie ; du nord au sud, elle est caractérisée par une savane arbustive à *Acacia seyal* indiquant souvent la présence de nodules calcaires, *Acacia gourmensis*, *Bauhinia sp. (reticulata)*, *Acacia senegal* var. *Samoryana*, *Combretum glutinosum* accompagnés de *Sterculia setigera*, *Bombax costatum*, *Poupartia birrea*, *Balanites aegyptiaca*, *Lanea velutinum*.

Dans la strate herbacée, *Andropogon gayanus*, *Loudetia togoensis*, *Cymbopogon species* sont les espèces les plus caractéristiques de ces sols ; elles forment très souvent des peuplements denses.

Cependant, la savane anthropique à Karité peut s'installer sur les Vertisols et les Para-Vertisols.

Les Vertisols hydromorphes occupant les fonds de vallées sont très souvent caractérisés dans la région de Pô par une savane arbustive à *Combretum sp. (ghallense ?)* arborescents, qui semble leur être spécifique dans cette région.

3.3 - La végétation des Sols Halomorphes

La végétation de ces sols se rapproche de celle des Vertisols, mais elle est généralement plus dégradée si les recouvrements non halomorphes n'interviennent pas pour atténuer en surface les mauvaises caractéristiques hydriques des matériaux halomorphes. C'est une savane arbustive, souvent

et le plus typiquement très maigre, où l'on retrouve *Combretum sp. (glutinosum)*, *Acacia gourmensis*, *Lannea velutinum*, *Acacia senegal*, *Balanites aegyptiaca* ; avec quelques arbres : *Bombax costatum*, *Adansonia digitata*, *Poupartia birrea*.

4 - GÉOLOGIE

Nous étudierons dans une première section les formations géologiques, et, dans une deuxième, l'altération des roches.

4.1 - Aperçu sur les formations géologiques

Les formations précambriennes, qui constituent la quasi-totalité du territoire de Côte d'Ivoire, continuent leur prédominance géographique en Haute-Volta où elles ne cèdent la place aux formations primaires que dans la région de Bobo-Dioulasso (FURON, 1960).

On distingue dans ce précambrien trois étages :

- un précambrien inférieur, ou Dahoméen, qui n'existerait pas en Haute-Volta ;
- un précambrien moyen : Atacorien et Birrimien ;
- un précambrien supérieur, ou Tarkwaten, qui n'intéresse pas la zone de travail étudiée.

L'essentiel des formations des régions étudiées appartient au Birrimien, et surtout, aux venues granitiques post-birrimiennes que SAGATZKY (1947) désigne sous le nom de granito-gneiss.

4.1.1 - LE BIRRIMIEN

Les sédiments anciens qui constituent le Birrimien ont été métamorphisés. Le sommet est caractérisé par un grand développement de roches épanchées (andésites, gabbros, dolérites, basaltes). Le Birrimien supérieur montre aussi, sur des étendues importantes, une abondance de roches schisteuses et siliceuses peu métamorphisées, tandis que le Birrimien inférieur est surtout caractérisé par des micaschistes et paragneiss, des quartzites non manganésifères, des amphibolites et schistes amphibolitiques à tendance gneissique (SAGATZKY, 1947).

Les principales formations distinguées par DUCÉLLIER (1963) et SAGATZKY (1947) sont :

- 4.1.1.1 - Les schistes :** schistes argileux (type le plus important et le plus répandu), schistes tuffacés, schistes quartzo-ferrugineux, séricito-schistes, quartzséricitoschistes, schistes à séricite et chlorite, schistes calcaires à chlorite, micaschistes.
- 4.1.1.2 - Les formations orthométamorphiques neutres :** diorites métamorphisées, diorites quartziques métamorphisées, microdiorites quartziques métamorphisées, méta-andésites.
- 4.1.1.3 - Les formations orthométamorphiques basiques :** gabbros, dolérites, schistes amphibolitiques à épидote, amphibolites, amphibolopyroxénolites, gneiss plagioclasiques grenatifères de SAGATZKY et intercalations basiques dans le granitogneiss.

4.1.2 - LES GRANITES DE LA PROVINCE BIRRIMIENNE

DUCÉLLIER (1963) les classe en granites syntectoniques assimilables aux granites "Baoulé" et en granites intrusifs post-tectoniques ou granites intrusifs discordants.

4.1.2.1 - Les granites syntectoniques

Ils correspondent aux granitogneiss de SAGATZKY. Ce sont essentiellement des granites calco-alkalins dont on trouve toutes les variétés depuis le granite calco-alkalin type jusqu'à la granodiorite. Au voisinage des roches basiques, certains granites se chargent de plus en plus en amphiboles et s'appauvrissent en biotite. Dans la zone de contact, le faciès de transition revêt l'aspect d'une granodiorite ou d'une diorite (SAGATZKY, 1947). La tendance générale est monzonitique (orthose = plagioclases).

GRANITE CALCO-ALKALIN A BIOTITE ET MUSCOVITE

Les deux micas se présentent généralement ensemble, mais la muscovite peut devenir dominante. Les feldspaths sont le microcline et un plagioclase (albite ou, plus souvent, oligoclase acide). Le microcline est souvent prédominant sur le plagioclase. Ils constituent ici le terme le plus acide.

GRANITE CALCO-ALKALIN A BIOTITE OU A BIOTITE ET AMPHIBOLES

Il semble être un faciès local des granites précédents, caractérisé par le microcline généralement en gros cristaux ; il est le plus souvent à biotite et plus rarement à biotite et amphiboles.

4.1.2.2. - Les granites post-tectoniques ou granites intrusifs discordants

Ils sont loin d'avoir l'importance des granites syntectoniques.

LES GRANITES ALCALINS

Ils contiennent du quartz en quantité appréciable, de l'albite et du microcline. La teneur du plagioclase en anorthite est faible ou nulle. Il se présente deux cas :

- granites hypoalumineux : la quantité d'alumine est insuffisante pour former l'anorthite, la chaux de la roche s'exprime alors sous forme de hornblende ou d'augite aegyrinique ;
- granites hypocalciques : cas le moins fréquent, où l'excès d'aluminium se manifeste par la présence de muscovite.

LES GRANITES CALCO-ALKALINS

On distingue les mêmes subdivisions que pour les granites syntectoniques.

SYÉNITES ALCALINES

Roches grenues, dépourvues de quartz ou pauvres en quartz. Les constituants principaux sont ici le microcline et l'albite. Le pyroxène est de l'aegyrine ou de l'augite aegyrinique, parfois accompagnée de biotite.

4.2 - Altération des roches et ses conséquences

Les bassins versants des Volta Rouge et Blanche, soumis à un climat tropical semi-humide, sont le siège de deux types d'altération :

4.2.1 - L'ALTÉRATION GÉNÉRALEMENT CONSIDÉRÉE COMME CLIMACIQUE

qui aboutit à la transformation totale de minéraux en kaolinite avec lessivage des bases, individualisation et lessivage des hydroxydes de fer et de manganèse. Mais à l'inverse de l'altération ferrallitique qui caractérise, elle, les régions tropicales humides, il n'y a pas individualisation de l'alumine qui reste liée à la silice sous forme de kaolinite essentiellement.

"La kaolinite est un minéral caractéristique d'un environnement relativement acide" (BONIFAS, 1959), sa genèse "requiert, outre un apport d'ions H, l'élimination des cations diva-

lents et du fer". Aussi, cette altération ne se produit-elle ici que sur les roches acides, particulièrement sur les granites calco-alcalins à biotite et à biotite et muscovite. Lorsque cette altération est profonde, une nappe hydrostatique s'installe dans le matériau kaolinisé. Elle devient le réservoir où viennent se déposer toutes les solutions de lessivage chargées des hydroxydes de manganèse et de fer. Soumises à des fluctuations saisonnières dues à la saison sèche, ces nappes déterminent un phénomène de pseudogley à concrétions et cuirasse de nappe. Aussi, dans les régions où la nappe existe, il y a toujours une continuité dans le cuirassement, et dans les régions où elle n'existe pas, le cuirassement disparaît avec le démantèlement de la vieille surface cuirassée.

C'est ainsi que dans une grande partie des superficies des feuilles de Ouagadougou et de Pô, dépourvue de nappe, la discontinuité dans le cuirassement est brutale, les restes de cuirasses anciennes reposant sur des altérations de granite à taches sans évolution actuelle vers le cuirassement ou même sur le granite franc ou peu altéré. Sur le matériau originel sablo-argileux à argilo-sableux dérivant de cette altération, se forment les sols à pseudo-gley à taches et concrétions (sols du type ferrugineux tropical).

4.2.2 - L'ALTÉRATION "INTRAZONE" DE TYPE MONTMORILLONITIQUE

Nous avons conservé ce terme d'"intrazone" pour l'opposer au terme "climacique" du paragraphe précédent. Mais ces deux types d'altération sont aussi climaciques l'une que l'autre.

L'altération du type kaolinique a été généralement considérée jusque là comme climacique, parce que les sols de ces régions sont le plus souvent développés sur des produits à pédogenèse ancienne (les surfaces d'érosion successives se colmatant à base de produits appartenant aux surfaces précédentes).

La montmorillonite caractérise les produits d'altération des roches ignées contenant du magnésium, et qui s'altèrent dans des conditions de drainage telles que les cations restent dans la zone d'altération après destruction des minéraux de la roche-mère (BONIFAS, 1959). Son milieu de formation exige un pH élevé et la présence de nombreux cations, dont le magnésium : eaux basiques, chargées de sels dissous.

Dans les régions étudiées, cette altération caractérise les roches basiques (amphibolites, schistes amphibolitiques, amphibolopyroxénolites, gabbros) et certaines roches "acides à intermédiaires" (JUNG, 1958), principalement les granites calco-alcalins à amphiboles dominantes, plus riches en plagioclases et aussi en intrusions de roches basiques (pyroxénites, amphibolites). Lorsque les feldspaths sodiques sont dominants, le maintien des cations dans la zone d'altération contribue à la formation d'argiles montmorillonitiques, à complexe absorbant riche en sodium échangeable, le rapport du sodium à la capacité d'échange pouvant atteindre 30 %.

Cette altération a pu se produire sous la cuirasse ancienne avant la disparition de celle-ci. En effet, le cuirassement a été général et les sols actuels se développent sur les altérations sous-jacentes à la cuirasse ancienne, ou sur les altérations qui se sont produites après la disparition de cette cuirasse lors de l'affleurement du socle birrimien (cf. V. "Géomorphologie").

Dans tous les cas, cette altération semble actuellement en cours, car les produits d'altération de granite prélevés en dessous des sols montmorillonitiques, donc actuels, sont de type montmorillonitique.

L'analyse aux rayons X de deux échantillons d'altération a donné les résultats suivants :

- Echantillon VN 703 : Horizon d'altération de granite, à taches feldspathiques blanchâtres, taches rouille d'altération des micas.

Montmorillonite	80 %
Kaolinite	20 %
Illite	traces.
- Echantillon VL 63 : Horizon blanchâtre d'altération du granite amphibolopyroxénolite, où l'on reconnaît encore l'orientation du granite.

Montmorillonite	90 %
Kaolinite	10 %.

La fraction argileuse de cette altération est même plus riche en montmorillonite que celle des horizons qui la surmontent, puisque l'on note seulement 80 % de montmorillonite dans le prélèvement VL 62.

Dans le profil VN 7 qui est un vertisol typique sur altération de schistes, il apparaît bien que les solutions basiques ne sont pas éliminées de la zone d'altération. L'horizon d'altération gris brun clair où les schistes décomposés ont gardé absolument intacte leur schistosité, est riche en nodules et concrétions calcaires cassables en voie de formation, en dépôt d'efflorescences blanches poudreuses entre les feuillettes. Par endroits, les nodules et concrétions calcaires sont très nombreux, truffant l'ensemble de taches blanchâtres de toutes tailles ; l'altération est alors plus poussée, la schistosité disparaît, il reste une argile très probablement de type montmorillonitique à structure polyédrique moyenne à grossière, ou moyenne à petite, bien développée.

De très nombreuses argiles de type montmorillonitique sont riches en nodules, en concrétions ou en amas calcaires. Cette association très fréquente : carbonate de calcium-montmorillonite, rappelle beaucoup les conclusions de PEDRO (1960) sur l'altération de roches en présence de CO₂ : il y a formation, contrairement à ce que l'on peut croire, d'un milieu d'accumulation basique caractérisé par la paragenèse "carbonate-montmorillonite". Rappelons que cette expérience a été réalisée sur une roche acide, un granite à biotite, et sur une roche basique, un basalte à olivine.

Au point de vue hydrologique, une des conséquences principales de l'altération de type montmorillonitique est ici l'absence de nappe hydrostatique découlant :

- de l'imperméabilité totale des argiles montmorillonitiques,
- de l'altération peu profonde, rarement supérieure à 1,80 m, sous laquelle se trouve la roche peu altérée.

Les régions verticales sont ici des régions sans nappes hydrostatiques. L'existence des nappes d'eau est liée à des variations accidentelles dans la composition des granites vers des faciès pegmatitiques capables d'emmagasiner l'eau.

5 - GÉOMORPHOLOGIE

5.1 - Les formes du relief

La région étudiée est une pénéplaine (*), le plus souvent d'une platitude monotone, avec des pentes de l'ordre de 1 à 2 % aboutissant à des thalwegs dont les remblais, atteignant souvent le niveau de la pénéplaine, sont actuellement repris par l'érosion. Cette dernière y creuse des ravins plus ou moins importants sur lesquels, selon une expression bien évocatrice de DRESCH (1953), "on débouche brutalement sans les prévoir".

Cependant, une certaine différenciation d'origine lithologique existe, qui nous permet de distinguer les zones suivantes :

5.1.1 - ZONE A GRANITO-GNEISS ACIDE ET A RECOUVREMENT CUIRASSÉ ENCORE IMPORTANT

Elle occupe la majeure partie des régions étudiées à l'ouest de la ligne Zourma-Kampala pour le bassin versant de la Volta Rouge, et les régions de Tangsobintenga, Gaongo, Limnoghin, Beta, Seylla pour le bassin versant de la Volta Blanche.

* Il s'agit de pénéplaine partielle et non d'un niveau d'aplanissement généralisé.

Le relief est généralement très plat avec, comme conséquence, une tendance constante au mauvais drainage. Les pentes de l'ordre de 1 à 2 %, parfois 3 %, sont longues.

Les reliefs résiduels, généralement peu nombreux, sont constitués de buttes cuirassées et d'inselbergs granitiques.

5.1.1.1 - Les inselbergs granitiques

Ils sont plus ou moins importants, allant du dôme ou du bloc vertical à la masse importante formant un système de collines.

LES BLOCS GRANITIQUES

Un exemple typique est donné par les blocs granitiques atteignant environ 4 m de haut, dominant la Volta à l'aboutissement de la piste Nobéré - Volta Rouge (photo 1). Ils vont du bloc absolument vertical jaillissant brusquement de terre, au bloc plus ou moins en forme de dôme dissymétrique : pente de 20° du côté opposé à la Volta, passant à 45° du côté de la Volta.

LES DÔMES GRANITIQUES

Ils sont assez communs dans le bassin versant de la Volta Rouge à l'ouest de l'axe routier Ouagadougou-Pô.

L'altitude est très variable, on va du dôme quasi à ras de terre, jusqu'au magnifique exemple de Tiaré (photo 2) dépassant 30 à 40 m de haut, exemple typique d'inselberg, jaillissant brusquement au dessus d'une large plaine absolument plate, avec un angle basal fortement marqué et une zone déclive circulaire, soulignée ici par un liseré de végétation nettement plus arbustive. ROUGERIE (1964) considère cette zone déclive comme caractéristique des modelés et dynamiques de savane. Il est difficile de voir là l'action spécifique d'un type de formation végétale. Elle a été signalée par de nombreux auteurs, et serait due à une érosion différentielle plus grande à la base de l'inselberg, à cause de l'altération plus prononcée s'expliquant par une humidité plus grande. Mais, à la base d'inselbergs plus importants, on observe souvent des restes de cuirasse ou de carapace, anciennes et subactuelles, et on n'observe donc pas de zone déclive.

Sur le dôme de Tiaré, les pentes légèrement dissymétriques sont de l'ordre de 20 à 25° (36 à 45 %). L'altération se produit par desquamation donnant d'énormes écailles qui résonnent au moindre choc et qui font surnommer ce dôme "la montagne qui parle".

LES MURAILLES GRANITIQUES

Il s'agit de collines isolées, en forme de muraille. La figure 5 représente une coupe schématique de tels inselbergs. Ces derniers dominent d'un côté la plaine par une véritable muraille qui tend fortement vers la verticale, tandis que le flanc opposé a généralement une pente plus faible, de l'ordre de 45°, avec, dans tous les cas, un angle basal d'une étonnante netteté. Ils peuvent porter ou non une cuirasse sommitale.

Sur la piste de Ibogo-Bouema, environ deux kilomètres après le village de Ibogo, on voit une longue muraille granitique orientée N-E, s'étirant sur deux kilomètres environ et surplombant brutalement la plaine basse, très plane, à nette hydromorphie, où la rivière principale suit la direction d'allongement de la muraille.



Fig. n° 5

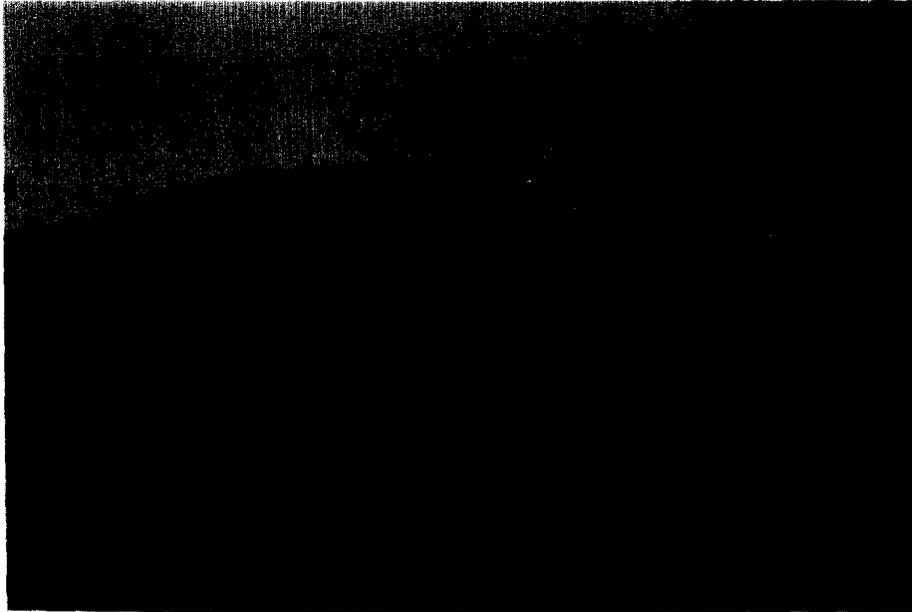


Photo 1 -
Blocs granitiques en bordure de la Volta Rouge
à l'aboutissement de la piste Nobéré-Volta Rouge.

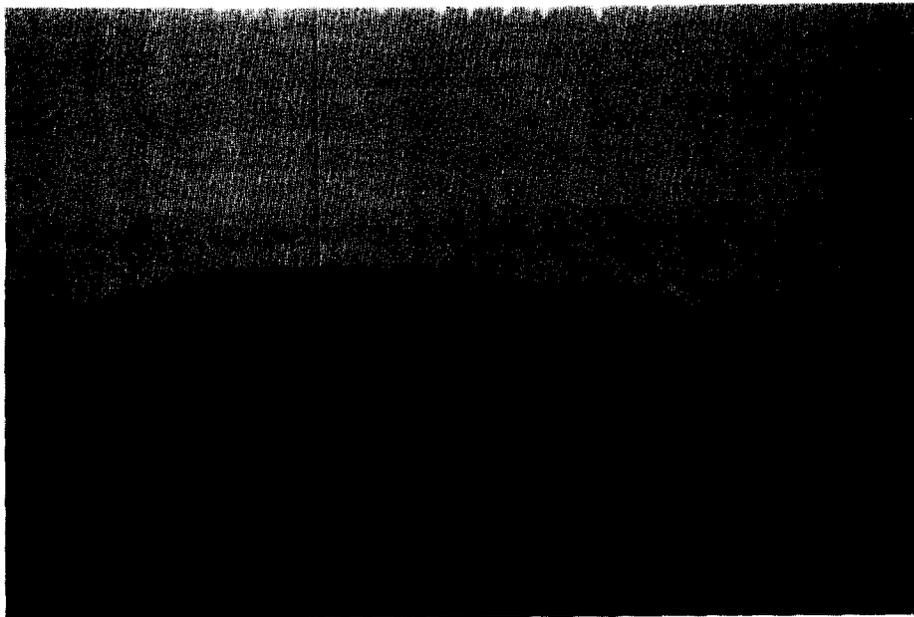


Photo 2 -
Dôme de Tiaré.

Ces murailles, observées seulement dans la région de Ibogo, semblent liées aux granites alcalins porphyroïdes de cette région, "roches à structure massive très peu diaclasées résistant bien à l'érosion" (DUCELLIER, 1963).

LES SYSTÈMES DE COLLINES

Ces masses granitiques, constituées essentiellement par les granites intrusifs ou post-tectoniques calco-alcalins, se développent dans les régions de Pô-Tiébélé-Kampala-Lenga-Boussouma-Zourma. Elles culminent au Pic de Naouri à 447 m, d'après la carte au 1/200 000. SAGATZKY (1954) donne 600 m environ.

On peut prendre pour exemple-type les systèmes de Tiébélé et Kampala.

A Kampala, c'est une série de collines où apparaît très nettement un allongement nord-est passant par endroits à nord nord-est ou nord (devenant parfois quelconque, avec alors une forme arquée) qui correspond à la direction générale du plissement du granito-gneiss. L'angle basal est fortement marqué avec passage brutal d'une pente d'inselberg de l'ordre de 45 à 60°, tendant parfois à la verticale, à une pente de 1 à 2% dans la plaine. L'altération des blocs de granites se fait par desquamation et par altération chimique de la biotite, avec mise en relief des quartz en surface.

5.1.1.2 - Les buttes cuirassées

Elles ne sont généralement pas nombreuses dans cette zone. Elles sont soit tabulaires, soit inclinées. Dans ce dernier cas, elles dominent de certains côtés la plaine par un petit escarpement vertical pouvant atteindre 4 à 6 m de haut, tandis que d'un côté, elles se fondent dans la plaine après une inflexion de pente. Les altitudes sont de l'ordre de 300 à 360 m.

5.1.2 - ZONE A GRANITO-GNEISS ACIDE A RECOUVREMENT CUIRASSÉ NÉGLIGEABLE

Elle comprend les régions de Hériba (entre Yakala et Zabré), Medéga, Zonsé et la région de Bagré.

La dissection intense par le réseau hydrographique donne une plaine ondulée constituée de larges croupes étalées à sommet aplati et à longues pentes de 3% environ, descendant de tous les côtés vers des thalwegs qui s'incrustent assez fortement dans la plaine.

La roche saine affleure très souvent ; les recouvrements sableux et gravillonnaires (ou graveleux) qui masquent le granite peu ou pas altéré, sont très peu épais.

5.1.3 - ZONE A GRANITO-GNEISS A AMPHIBOLES ET PYROXÈNES DOMINANTS

C'est la zone des vertisols. Le relief est très aplani avec une intense dissection par un chevelu hydrographique très dense qui témoigne de l'imperméabilité et de la faible résistance à l'érosion des argiles montmorillonitiques. Le granite sain affleure très souvent en boules et l'altération n'est jamais profonde. La couche d'argiles montmorillonitiques ne dépasse pas 1,70 m environ.

Lorsque la cuirasse ancienne a résisté quelque peu, le paysage est plus ondulé avec de petites croupes gravillonnaires.

Il subsiste quelques buttes cuirassées tabulaires.

5.1.4 - ZONE BIRRIENNE

Les schistes argileux constituent une plaine très plate, assez identique parfois à la précédente, mais avec une certaine orientation du chevelu hydrographique. Par ailleurs, la platitude est souvent rompue par de nombreuses petites buttes quartzitiques blanches et par d'assez nombreuses

petites dépressions verticales. Le schiste affleure souvent avec un pendage presque vertical, dans ce cas le recouvrement argileux est très peu épais. Ce type de relief couvre les régions situées à l'est de Bissiri et Gaongo et au nord de Wéogotenga (Volta Blanche).

Le Birrimien supérieur schisto-basique constitue la zone des hauts reliefs formés de nombreux inselbergs avec ou sans cuirasse sommitale, flanqués de buttes cuirassées qui semblent s'élancer vers les inselbergs mais qui en sont le plus souvent séparées par une plaine ou une dépression que les buttes surplombent brutalement par un escarpement vertical. Cet espace qui sépare les buttes cuirassées des inselbergs mesure le recul des flancs de ces derniers qui peuvent disparaître complètement (ou presque). Il reste alors un groupe de buttes parfois concentriques, parfois alignées (selon que l'inselberg était isolé ou s'étirait en une ligne de crêtes) regardant une plaine très plate, où peuvent subsister quelques maigres vestiges de l'inselberg : c'est une inversion de relief typique. Ce phénomène a été bien signalé par BRAMMER (1959) et apparaît de façon caractéristique dans la région de Birgui.

Lorsque le revêtement cuirassé a disparu, les roches schistobasiques forment le plus souvent dans la région de Korsimoro-Boussouma des collines isolées ou des chaînes de collines aux flancs abrupts et très intensément disséqués, par un réseau hydrographique dense et fortement incrusté. Parfois apparaît une crête d'origine lithologique.

Les escarpements cuirassés n'ont pas toujours un profil vertical. Parfois, seul le sommet cuirassé forme un escarpement vertical (pouvant se réduire à une mince muraille constituée de gros blocs prismatiques), émergeant brusquement d'une pente abrupte encombrée de nombreux blocs de cuirasse qui n'ont pas glissé jusque dans la plaine, et couverte d'une végétation herbeuse parfois dense avec quelques épineux (photo 3).

Ce type de relief se développe surtout dans les régions de Birgui, Korsimoro, Goudri, en ce qui concerne la zone étudiée, et dans les régions de Kaya, Lac de Bam, Lac de Dem.

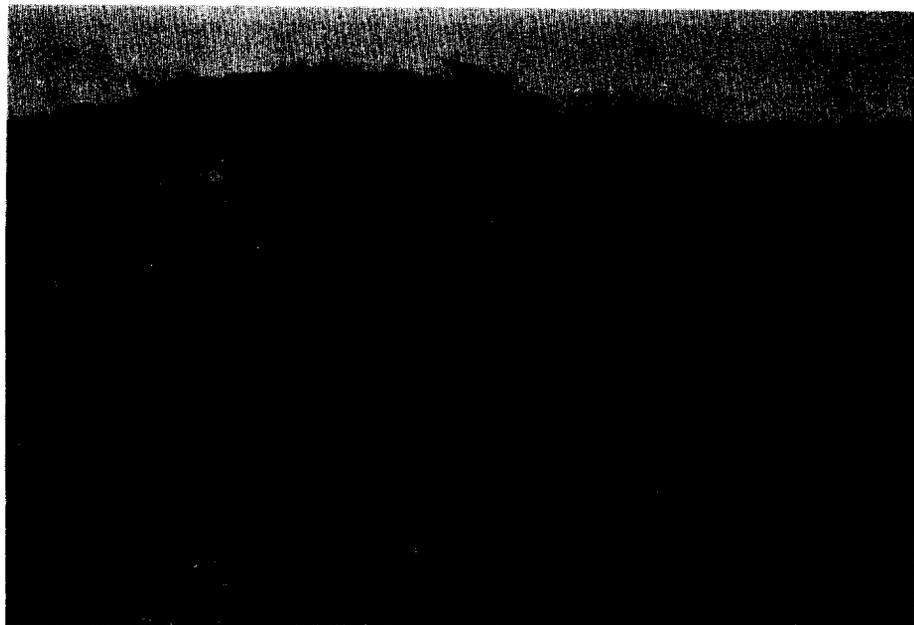


Photo 3 -
Escarpement cuirassé sur la piste Volta Blanche -
Noungou-Mané à 26 km de la route Ouagadougou-Kaya.

5.2 - Genèse du relief. Les surfaces d'érosion

Nous distinguerons avec BRAMMER (1959) deux surfaces ou groupes de surfaces principales.

5.2.1 - LA SURFACE SUPÉRIEURE OU SURFACE ANCIENNE

Elle est constituée par les hauts reliefs du Birrimien supérieur coiffés par une cuirasse sommitale. Les altitudes, d'après BRAMMER, seraient de l'ordre de 600 m, mais l'examen des cartes au 1/200 000 (feuilles de Ouagadougou et Kaya) montre que les principaux sommets se répartissent approximativement autour de trois niveaux : 500 m, 480 m et 450 m. Les sommets cuirassés se maintiennent dans les deux premiers niveaux.

Dans la feuille de Koudougou, DAVEAU, LAMOTTE et ROUGERIE (1962) observent que les sommets se situent légèrement au dessus de 500 m, avec 590 m au point culminant, le Mont Koyo, et 549 m dans les hauteurs de Pilimpicou.

Au Ghana (HILTON, 1963), la surface supérieure apparaît entre 427 et 533 m dans le haut pays de Gambaga ; dans la région de Sakogu-Nakpanduri (environ 60 km au sud de la frontière avec la Haute-Volta) elle est associée à l'isohypse 457 m.

Pour BRAMMER (1959), BRASH (1962), HILTON (1963), la surface supérieure du Ghana est maintenant considérée comme corrélative de la grande "Surface Africaine" de KING (1962) qui aurait été commencée au Crétacé, mais ne se serait développée dans certaines régions qu'au début du Tertiaire (BRASH, 1962).

Pour LAMOTTE et ROUGERIE (1961), la grande "Surface Africaine" serait Eocène inférieure et son altitude dans l'Ouest africain, "rigoureusement constante", serait de l'ordre de 800-700 m, s'abaissant au sud à 400, 300, voire 250 m. Ils attribuent à cette surface "toutes les buttes de roches vertes qui parsèment le socle cristallin ou métamorphique hors des régions montagneuses ou de hauts plateaux".

Il semble donc que les sommets cuirassés des hautes collines birrimiennes de la région de Korsimoro-Kaya soient à rattacher à cette surface.

Au Ghana, les différents auteurs s'accordent pour dire que la surface africaine est toujours bauxitique et d'après HILTON (1963), la cuirasse résiduelle, enrichie en bauxite par accumulation relative provoquée par le lessivage de la silice et des hydroxydes de fer, caractériserait le groupe le plus ancien de surfaces. Mais, DUCÉLLIER (1963) pense que la proportion relative de bauxite est d'origine lithologique (les schistes donneraient des cuirasses plus bauxitiques que les roches vertes).

En Haute-Volta, il semble que DUCÉLLIER ait trouvé de nombreux sommets bauxitiques : "En de nombreux endroits, surtout dans les cercles de Koungoussi et Kaya, on observe des affleurements et des éboulis de bauxite claire, rosée ou blanchâtre", mais il ajoute qu'en beaucoup d'endroits, la bauxite en place a disparu et qu'il ne reste plus que des éboulis.

La surface constituée par les sommets birrimiens apparaît donc à cet égard devoir être rattachée à la surface Eocène.

5.2.2 - LE GROUPE DE SURFACES INFÉRIEURES

Au Ghana, les différents auteurs distinguent au dessous de la surface ancienne, une surface inférieure multiphasée qu'ils attribuent à un cycle fin Tertiaire, c'est-à-dire Pliocène. BRAMMER (1959) y rattache les hauteurs de 46 à 76 m sur la côte, passant à 304 m dans le nord-ouest de l'Ashanti. BRASH (1962) se rallie à ce point de vue et écrit : "il est maintenant admis au Ghana que la surface supérieure est début Tertiaire et la surface inférieure mi-Tertiaire à fin Tertiaire". La notion de glacis quaternaires, si développée chez les géomorphologues de l'Ouest africain

(VOGT, MICHEL, LAMOTTE, ROUGERIE, TRICART), ne nous a pas paru être nettement définie chez ces auteurs ghanéens, puisque ces derniers paraissent rattacher au cycle fin Tertiaire jusqu'aux buttes de 1,5 à 6 m au dessus de la plaine actuelle, qui, pour eux, seraient des témoins érodés de ce cycle mi-Tertiaire, fin Tertiaire.

Cependant, MICHEL (1959 b) assimile les trois glacis qu'il a définis dans les bassins du Sénégal et de la Haute Gambie, et qui auraient été façonnés au cours de trois cycles caractérisés par la succession de périodes subarides et plus humides à climat soudanien, aux trois cycles déterminés par BRUCKNER (1955) au Ghana sur le profil latéritique jeune, et que ce dernier relie aussi aux oscillations climatiques, qui iraient des phases arides aux phases chaudes et humides.

Il semble bien établi que l'évolution géomorphologique ait été assez identique à travers l'Afrique occidentale (DRESCH 1947, MICHEL 1959 b) particulièrement en ce qui concerne le Quaternaire. Nous admettrons donc, en nous référant à MICHEL et VOGT (1959) que le groupe des surfaces inférieures de Haute-Volta doit être attribué aux cycles quaternaires.

Les buttes cuirassées de ce groupe semblent se répartir en deux niveaux :

- un niveau se situant autour de 360 m,
- un niveau se situant autour de 320 m.

L'ensemble de la plaine actuelle se maintient à 280-300 m. Il semble donc qu'on retrouve assez parfaitement les trois cycles de MICHEL et VOGT, et dont le troisième ne serait pas achevé ; et il n'y a pas, comme l'a dit BRAMMER, une dénivellation de 300 m entre la surface ancienne et le groupe suivant de surfaces.

La genèse de ce groupe inférieur de surfaces apparaît nettement au pied des reliefs birrimiens des régions de Korsimoro et Kaya. Leur morphologie et leurs relations avec les inselbergs birrimiens ont été longuement décrites par DAVEAU, LAMOTTE, ROUGERIE (1962) et par BRAMMER (1959). Les surfaces cuirassées inférieures sont disposées autour d'un inselberg ou d'une ligne d'inselbergs vers lequel ou laquelle elles semblent s'élaner avec une pente variable, d'environ 4 %, mais qui peut, selon BRAMMER, dépasser 18 %. Comme l'ont signalé DAVEAU, LAMOTTE et ROUGERIE l'extrémité dirigée vers l'inselberg s'appuie rarement sur celui-ci ; elle en est typiquement séparée par une dépression à fond plat qu'elle commande par un escarpement vertical, tandis que l'autre extrémité va parfois se fondre progressivement dans la surface actuelle (figure 8) ou en est aussi séparée par un escarpement cuirassé de l'ordre de 4 à 6 m (figure 6).

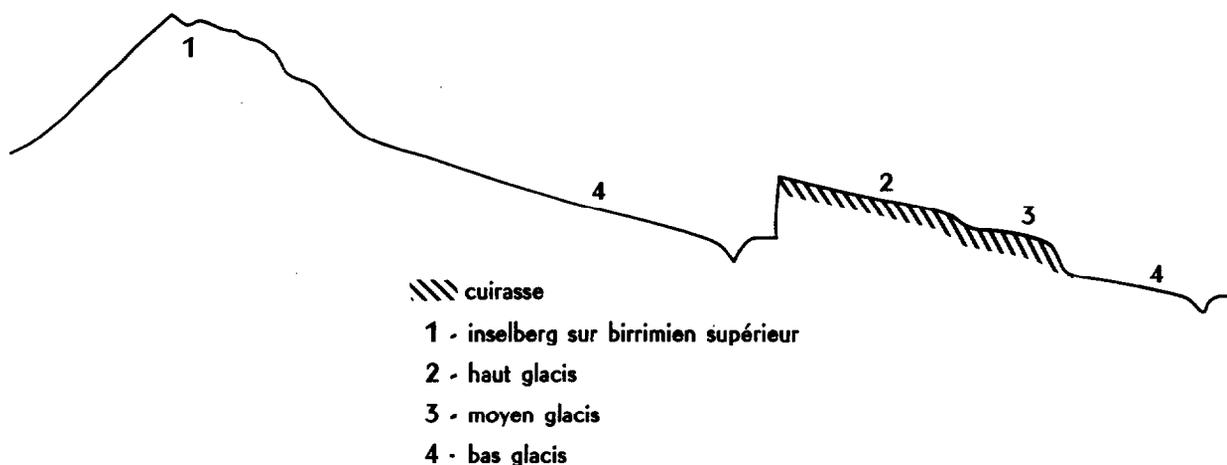


Fig. n° 6

A certains endroits cependant, l'examen des photographies aériennes (couple 24-25 ND.30.V, feuille de Ouagadougou) montre un inselberg central avec un minuscule sommet paraissant cuirassé, coté 482 m. Il s'abaisse en se divisant en trois branches. L'une des branches se ter-

mine par un ennoyage qui paraît se raccorder par une nette rupture de pente à un glacis fortement cuirassé (figure 7). L'ennoyage accroché au flanc inférieur de l'inselberg semble seulement faiblement carapacé si on en juge par les larges entailles qu'y provoquent facilement de petits ruisseaux. Il semble que les morceaux de cette carapace soient restés accrochés çà et là sur le flanc de l'inselberg, mais ne se raccordent pas avec le sommet.

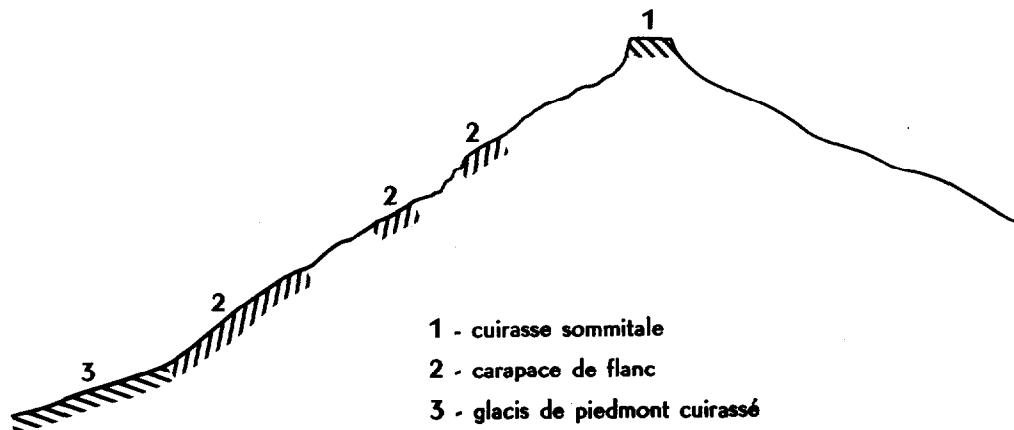


Fig. n° 7

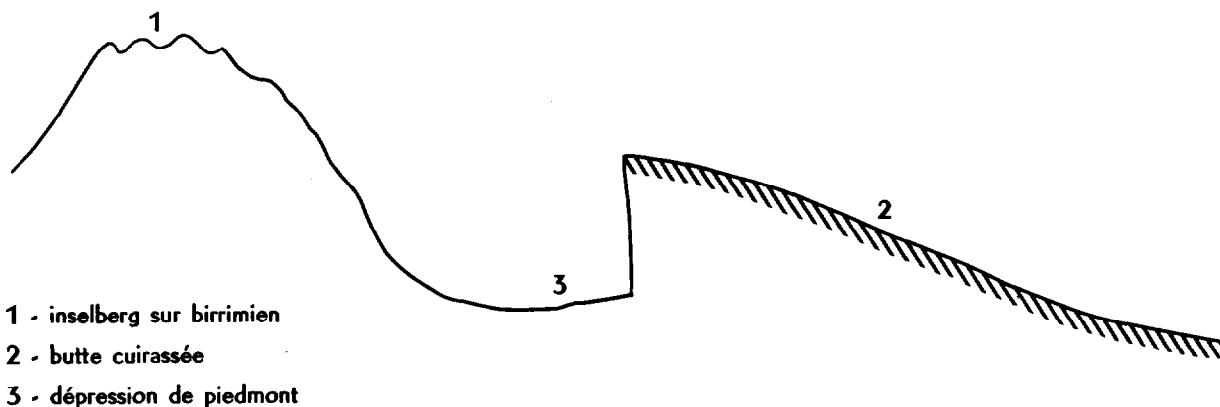


Fig. n° 8

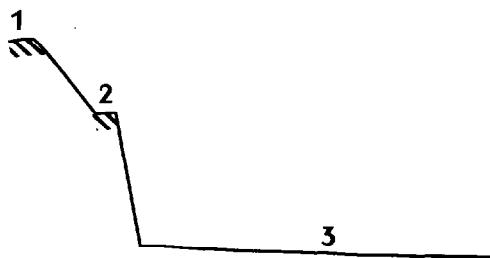


Fig. n° 9

Le glacis cuirassé paraît donc bien s'être formé sur une pente de piémont attenante à la colline birrimienne. Le cuirassement ne devient intense qu'à la rupture de pente, et la carapace fragile qui reliait le glacis à l'inselberg a été érodée la plupart du temps. La roche, ou ses altérations, ont été ainsi soumises à l'érosion, d'où la création de dépressions périphériques représentant le recul des flancs de l'inselberg. Ce dernier peut même disparaître, laissant parfois quelques maigres vestiges, et seule la position des plateaux cuirassés orientés vers la dépression, permet de savoir qu'il y avait là un inselberg.

On observe quelque chose d'analogue sur la longue muraille (de 1,5 km de long sur à peine 100 m de large) qui domine le village de Birgui. Des lambeaux assez importants de cuirasse ou carapace s'accrochent au flanc de la colline, à l'extrémité nord-ouest surtout ; à l'extrémité sud-est, le lambeau accroché prend l'aspect d'un chanfrein, tandis que sur le flanc tourné vers Birgui apparaissent en contre-bas de la mince table sommitale quelques lambeaux horizontaux formant comme de petits balcons ensevelis sous des éboulis (figure 9).

Les chapeaux de cuirasse des hauts sommets paraissent donc appartenir à un cycle de cuirassement nettement distinct des cuirasses suivantes.

Les géomorphologues de l'Ouest africain admettent l'existence d'une surface fin Tertiaire qui serait Pliocène pour les auteurs français et mi-Tertiaire à fin Tertiaire comme nous l'avons déjà signalé pour les auteurs anglais. Nous n'avons pas vu ici de preuves bien nettes de la présence de cette surface Pliocène. Signalons seulement l'existence de deux niveaux cuirassés, l'un autour de 500 m et l'autre autour de 480 m. Du reste, MICHEL considère l'aplanissement Pliocène comme très incomplet en ce qui concerne les bassins du Sénégal et de la Haute Gambie et il n'aurait pas engendré une surface généralisée puisque le cycle d'érosion n'aurait pas nivelé en roche dure.

En ce qui concerne l'étagement des surfaces à l'intérieur du groupe quaternaire, on est bien souvent tenté de ne voir qu'une surface unique : dominant par un escarpement vertical les dépressions à fond plat creusées au pied des inselbergs birrimiens, elle s'incline de l'autre côté pour se fondre dans la surface actuelle. Mais l'examen des photographies aériennes montre qu'il existe bien deux surfaces emboîtées. Sur la figure 10, une vallée suspendue au dessus de la plaine actuelle et sénilisée par le cuirassement, a été façonnée dans le glacis supérieur. Elle a été elle-même sévèrement entaillée par l'érosion avec façonnement d'une troisième surface : la plaine actuelle. Sur la figure 11 (même couple de photos), ce sont de nombreuses vallées sénilisées qui entaillent le glacis supérieur.

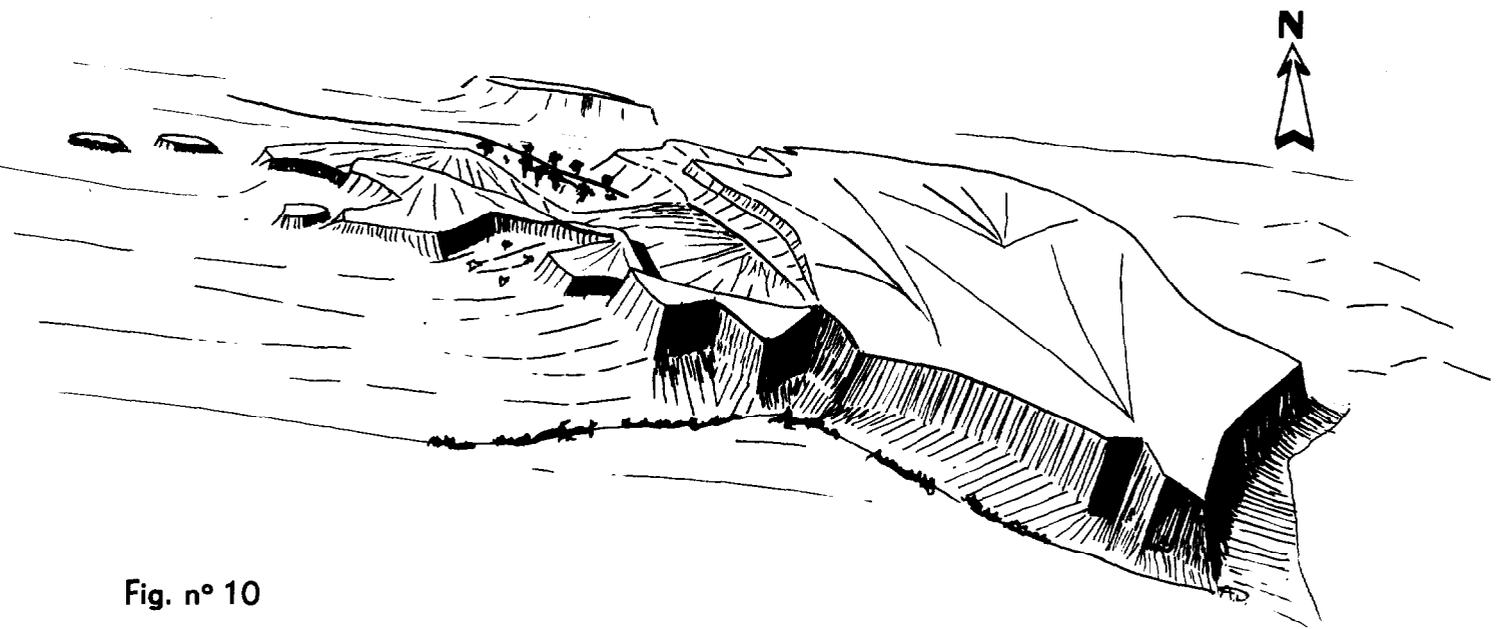


Fig. n° 10

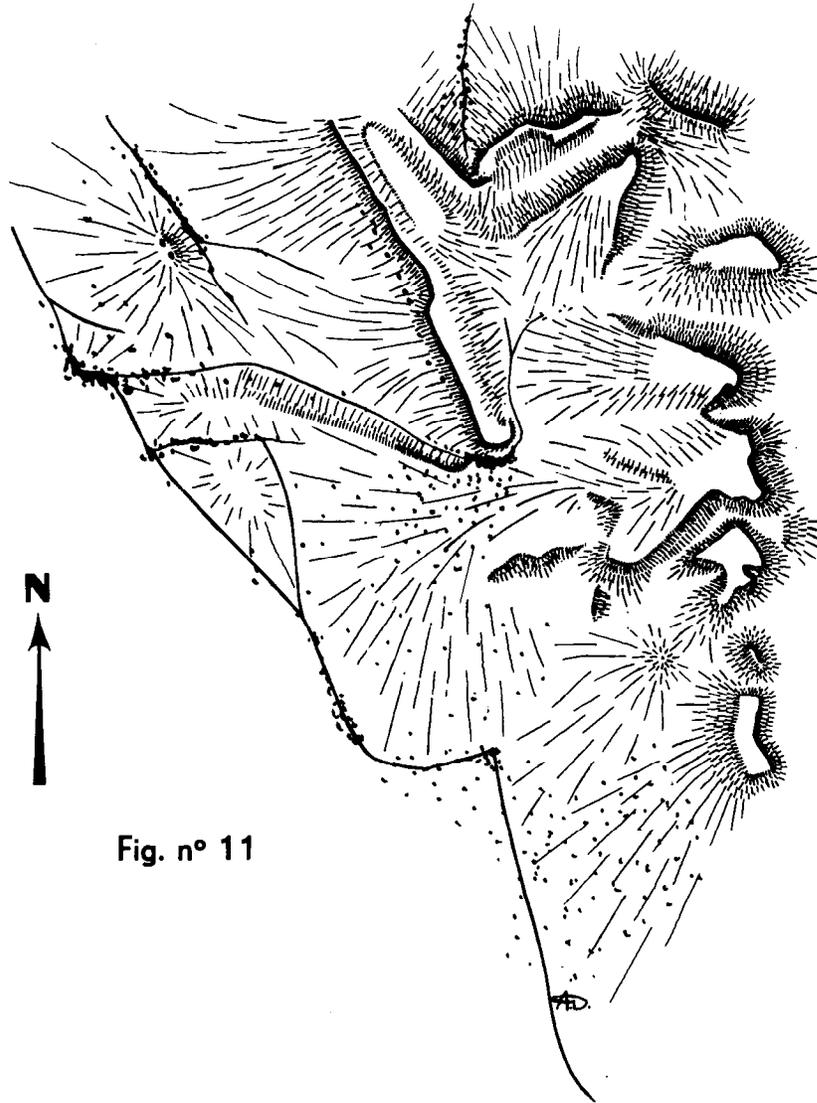


Fig. n° 11

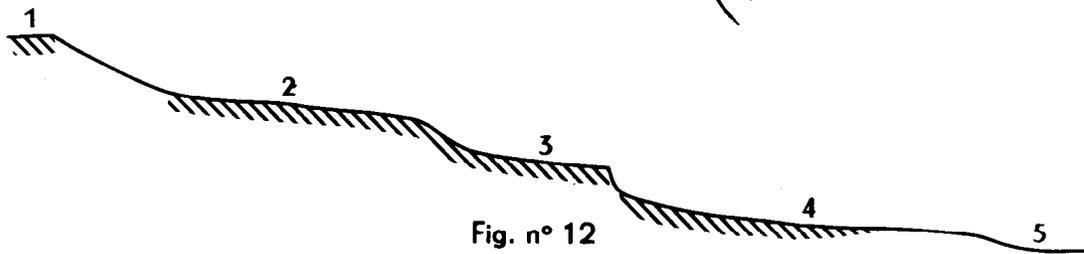


Fig. n° 12

- 1 - surface supérieure
- 2 - haut glacis
- 3 - moyen glacis
- 4 - bas glacis
- 5 - entaille récente comblée
- ////// cuirasse



Fig. n° 13

même légende que la fig. n° 12

Cet étagement apparaît aussi autour de la colline de Birgui : sur la figure 12, le glacis supérieur se raccorde à un glacis intermédiaire par une rupture de pente très nette, mais le cuirassement est en continuité ; sur la figure 13, il y a discontinuité entre les deux glacis : un reste du glacis intermédiaire paraît flanquer le glacis supérieur d'un petit balcon.

Nous admettons donc l'existence de deux glacis anciens que nous désignerons, selon la terminologie de MICHEL (1959 b) et VOGT (1959), sous les noms de :

- haut glacis, se maintenant autour de 360 m environ,
- moyen glacis, se maintenant autour de 320 m environ.

On trouve dans le reste de la zone étudiée des buttes cuirassées se rattachant à ces niveaux, les plus fréquentes étant de beaucoup celles qui se maintiennent autour de 320 m.

La haute colline tabulaire de la piste Dasamkandé-Volta Blanche baptisée Kikiri, est cotée 363 m, et donne un exemple de butte du glacis supérieur en dehors des régions de relief. Elle est formée sur schistes amphibolitiques. Le glacis supérieur paraît ainsi caractériser essentiellement les roches basiques.

Les buttes du moyen glacis sont tabulaires et rares dans la zone à altération montmorillonitique où leur démantèlement a été plus intense. Dans la zone kaolinique, elles dominent de certains côtés par de petits escarpements de 4 à 6 m de haut (ou moins) la surface actuelle, tandis que d'un côté elles s'y raccordent par une pente à rupture adoucie (figure 8) paraissant souvent moins fonctionnelle par rapport au réseau hydrographique actuel (figures 10 et 11). Parfois, la plaine déblayée au pied de l'escarpement correspond à une zone verticale, tandis que la zone de raccordement est une zone kaolinique (cf. colline cuirassée sur la route de Nobéré à Pô au km 10, et colline cuirassée sur la piste Nobéré-Volta Rouge à environ 500 m de la Volta).

Les cuirasses du moyen glacis sont ferrugineuses, formées en milieux ferrugineux tropical et non en milieu ferrallitique (*). Elles reposent très souvent sur le granite franc, qui est seulement imprégné superficiellement par les solutions ferrugineuses, ou sur des altérations de granite imprégnées de fer, contenant de nombreux cristaux de feldspath peu altéré, et, dans les faciès pegmatitiques, des empilements de grandes paillettes de mica blanc ou altéré. Les profils de collines tabulaires montrent souvent, en dessous de la cuirasse, des horizons rouges d'aspect ferrallitique. La colline tabulaire du km 10 sur la route de Nobéré à Pô en est un exemple typique. Le profil développé sur plusieurs mètres comprend, de la base au sommet :

- des affleurements de schistes amphibolitiques holomélanocrâtes non altérés ;
- un horizon rouge d'aspect très léger : altération en place d'une roche paraissant différente de la précédente (VR 15) ;
- un horizon rouge à taches blanchâtres, à structure polyédrique moyenne à grossière, à tendance prismatique assez bien développée (prélèvements VR 11) ;
- un horizon rouge à taches blanchâtres, identique au précédent, mais contenant de nombreux gravillons ferrugineux. Il semble être un remaniement sur très faible distance du précédent ;
- un horizon ocre à taches blanchâtres incluant de nombreux gravillons ferrugineux et induré par endroits en une carapace constituée de gros nodules ferrugineux. Cet horizon a 2 m d'épaisseur environ. C'est le résultat de l'induration de l'horizon précédent (prélèvement VR 13 et VR 12) ;
- une cuirasse ferrugineuse et manganifère massive à induration forte, constituée de taches brun-rouge à rouge, ocre-jaune et noires (prélèvement VR 14). Les pores tabulaires sont souvent gainés d'un cortex brun-rouge foncé qui rappelle beaucoup la patine des gravillons ferrugineux. Elle semble contenir quelques gravillons ferrugineux et se raccorde à la surface actuelle par une cuirasse ferrugineuse d'aspect feuilleté (prélèvement VR 16). Elle se disloque par blocs très nettement prismatiques.

* Le terme ferrallitique désigne toujours ici une altération où il y a libération d'alumine (gibbsite).

Il s'agit d'une cuirasse de nappe formée par des produits d'apports provenant du démantèlement d'une surface cuirassée plus ancienne disparue (haut glacis). La discontinuité entre les apports et les horizons d'altération est marquée par une "stone line" très fidèle de cailloux de quartz. Les horizons d'altération ont un aspect ferrallitique.

Accidentellement, la cuirasse massive n'a pas subi l'analyse triacide, mais tous les autres échantillons, excepté la cuirasse feuilletée, présentent un rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ supérieur à 2, variant de 2.35 pour le VR 15 à 2.03 pour le VR 13. La cuirasse feuilletée a un rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ de 1.96, c'est-à-dire presque égal à 2. La cuirasse et les altérations sous-jacentes sont donc de type non ferrallitique. L'analyse thermique différentielle révèle, dans tous les échantillons, la présence de kaolinite, de goéthite plus abondante dans la cuirasse, et, dans la carapace, de traces d'hématite et d'illite ou plus précisément d'hydrobiotite. A en juger par la nature des produits de remaniement sur lesquels s'est développée la cuirasse, il existait avant elle une surface cuirassée plus ancienne (haut glacis), qui est elle-même du type non ferrallitique (rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ supérieur ou égal à 2 et absence d'oxydes et d'hydroxydes d'alumine dans les produits dérivés).

La genèse de ces surfaces est donc relativement récente et s'est produite sous un climat de type soudanien assez identique au climat actuel. C'est du reste ce qui ressort des études de MICHEL (1959 a).

C'est dans le moyen glacis qu'a été façonné le troisième glacis, ou bas glacis, ou surface "actuelle", qui se maintient autour de 280-300 m. La terrasse fluviale correspondant à ce bas glacis est la basse terrasse.

Ce façonnement du troisième glacis a rendu moins fonctionnel en bien des endroits, le réseau hydrographique du moyen glacis, et il s'est produit de nombreux petits phénomènes de capture (figures 10 et 11). Sur la piste Nobéré-Volta Rouge (piste aboutissant sur la Volta au point de coordonnées $1^\circ 15'$ ouest, $11^\circ 31'$ nord), un escarpement cuirassé domine de 4 à 6 m environ, une plaine qui s'étend jusqu'aux bords de la Volta, où d'énormes blocs de granite de 4 à 5 m de haut jaillissant de terre constituent probablement des restes d'un inselberg sur lequel s'appuyait la butte cuirassée. Le lit même de la Volta est barré par des blocs de granite orientés en travers du lit (photo 4) et dont

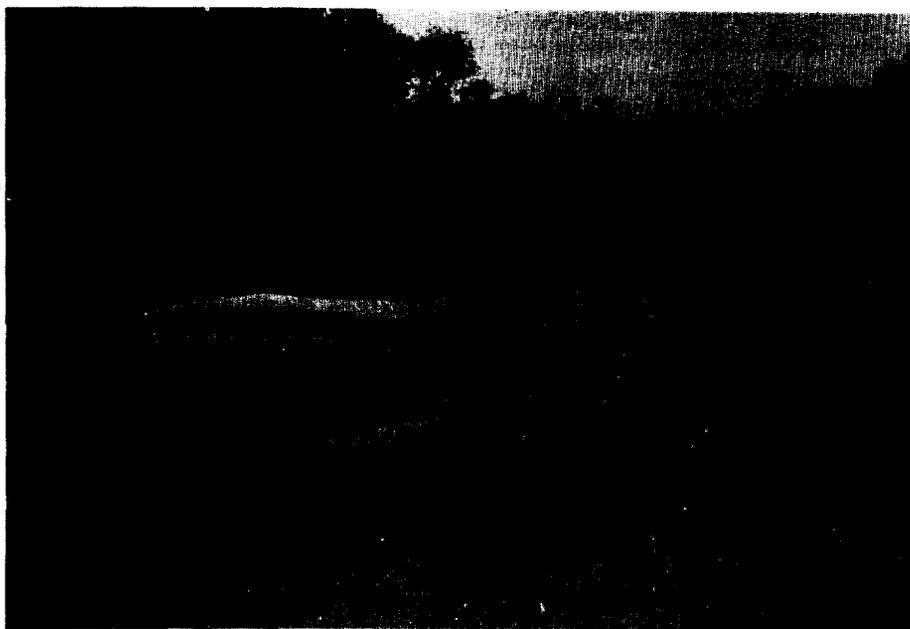


Photo 4 -

Lit de la Volta Rouge barré par des alignements de granite à l'aboutissement de la piste Nobéré-Volta Rouge.

la direction nord-nord-est à nord-est coïncide avec la direction générale des plis du granito-gneiss. La cuirasse semble donc appartenir à un glacis qui n'aurait pas été incliné vers le lit actuel de la Volta (figure 14).

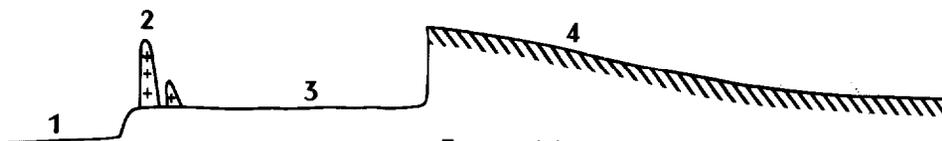


Fig. n° 14

- 1 - plaine de remblaiement de la Volta : entaille récente colmatée
- 2 - blocs de granite verticaux
- 3 - bas glacis surface actuelle
- 4 - butte cuirassée

Le façonnement de ce bas glacis ne semble pas avoir été très énergique en ce qui concerne l'ablation de la cuirasse ancienne dans la zone à altération kaolinique. Il l'a été beaucoup plus dans la zone verticale, probablement surtout à cause de l'intensité d'érosion beaucoup plus grande dans les argiles montmorillonitiques que dans les altérations kaoliniques ferruginisées. Il semble bien, en effet, que l'altération montmorillonitique soit apparue sous les cuirasses du moyen glacis dès lors qu'elles ont pu reposer sur la roche saine en de nombreux endroits.

5.2.3 - L'ÉVOLUTION DU BAS GLACIS

5.2.3.1 - La première phase de dissection

L'évolution propre du bas glacis est assez difficile à préciser. En effet, le bas glacis a été lui-même intensément disséqué par ce que VOGT appelle la dernière étape de l'évolution morphologique, "caractérisée par une intense dissection s'attaquant à tous les éléments du relief : les ravins grignotent les hauts glacis, les vallons détruisent les bas glacis fragiles que ne protège pas une carapace continue et épaisse, ainsi que les hautes terrasses".

Cependant, l'examen d'un certain nombre de profils de sols aide à préciser cette évolution et il semble bien, en accord avec MICHEL et VOGT, que l'évolution du bas glacis et de la basse terrasse n'ait engendré que des carapaces (au sens pédologique strict). Ce sont ici des carapaces ferrugineuses ou ferromanganifères, souvent à caractère plus ou moins bréchitique, incluant de nombreux cailloux de quartz et de feldspaths, et parfois, au voisinage des Volta, des galets de quartz. Dans le profil VRK 53 (sur la piste de Ziou à Zabéré au km 10,3, à 500 m de la Volta Rouge), c'est une carapace de type ferromanganifère, à aspect vaguement feuilleté, très caverneuse, à induration moyenne, et incluant de nombreux galets de quartz parfaitement roulés. A Niaogo, elle cimenter une véritable nappe de galets et ces mots de VOGT "en de nombreux endroits, des pierres volantes de graviers cimentés jonchent les versants.....permettant seules de reconstituer l'extension de la basse terrasse" évoquent singulièrement le site de Niaogo.

Ces carapaces reposent parfois sur la cuirasse du moyen glacis, massive, à induration forte, comme dans le profil VRK 24 (situé au pied des inselbergs granitiques de Tiébélé à 600 m du croisement avec la piste de Guenon).

Le profil se différencie ainsi :

- | | |
|-------------|---|
| 0 - 18 cm | Horizon gris-beige faiblement humifère ; sableux très peu argileux ; structure non développée ; débits grossiers à cohésion moyenne à faible, tendance particulière. |
| 18 - 34 cm | Horizon beige à quelques nuances ocre pâle ; peu ou pas humifère ; texture et structure identiques ; cohésion moyenne ; présence de quelques gros éléments rouille paraissant provenir du démantèlement de l'horizon suivant. |
| 34 - 50 cm | Horizon d'intense concrétionnement de couleur rouille, formant une carapace à inclusion de terre fine beige. |
| 50 - 110 cm | Cuirasse ferrugineuse rouille à taches plus jaunes et à taches noires, à aspect très massif, tranchant brutalement sur le précédent ; quelques petites inclusions de terre fine beige. |

Mais souvent elles sont constituées dans des altérations de granite ferruginisées qui étaient probablement sous-jacentes à la cuirasse du moyen glacis, et les cailloux de quartz et parfois de feldspaths qui marquaient la surface d'érosion du bas glacis ont été cimentés dans ces carapaces.

Le cuirassement protecteur du bas glacis était donc constitué par ces carapaces et par les cuirasses anciennes, dont l'énorme extension actuelle des restes sous forme de cuirasse massive, de blocs épars, d'altérations ferruginisées de granite, de collines cuirassées dans la zone kaolinique, de recouvrements gravillonnaires importants avec quelques collines cuirassées dans la zone vertique, témoin de l'importance qu'elles ont eue.

La phase d'érosion qui s'est attaquée au bas glacis a continué en somme l'œuvre de la phase précédente. Son substratum assez peu différent de celui du bas glacis, sauf en ce qui concerne les argiles vertiques, est constitué :

a - de restes de cuirasses anciennes, très répandus dans la zone étudiée surtout à l'ouest de la route Ouagadougou-Nobéré-Pô (Volta Rouge) et au nord de la piste Gaongo-Volta (Volta Blanche). Ils reposent très souvent à même le granite franc, si bien que les zones lithosoliques sont très souvent constituées de cuirasse et de granite.

b - d'altérations kaoliniques de granite, ferruginisées soit par libération de fer *in situ*, soit par enrichissement à partir de la cuirasse ancienne. C'est dans ces altérations que se sont souvent constituées les carapaces du bas glacis : le prélèvement VRK 454 du profil VRK 45 qui appartient à ce type de carapace, montre par sa richesse relative en bases totales et l'équilibre de ces bases (10 méq. de calcium, 25 méq. de magnésium, 4,2 méq. de potassium et 13 méq. de sodium pour 100 g) que nous avons affaire à une arène granitique ferruginisée et assez fortement indurée ici. L'examen microscopique montre du microcline, des plagioclases, d'assez nombreuses fibres d'actinote, de trémolite provenant de l'altération d'amphiboles, de la biotite altérée.

Ces altérations, lorsqu'elles n'ont pas été transformées en carapace, évoluent actuellement soit sous l'influence de l'hydromorphie, soit vers une sorte de carapace (sens large) par durcissement des taches. Dans les pegmatites, c'est un produit caillouteux à peine évolué avec de gros cristaux de feldspaths peu altérés et de quartz, et de gros empilements de lamelles de mica blanc peu ou pas altéré.

Lorsque la présence d'une nappe le permet, il y a, dans ces altérations, continuité entre cuirassement actuel et cuirassement ancien ; mais la tendance actuelle dans la zone étudiée est l'absence de nappes hydrostatiques entraînant une rupture dans le cuirassement (*sensu stricto*) qui apparaît comme sénile.

c - de cuirasses et carapaces subactuelles (cuirassement du bas glacis).

d - d'altérations montmorillonitiques de granito-gneiss ou de schistes dans les zones à amphiboles et pyroxènes dominants.

e - de granito-gneiss peu ou pas altéré.

5.2.3.2 - Les phases d'apport

Cette dissection du bas glacis semble s'être arrêtée brutalement pour faire place à une phase d'apports. Les entailles ainsi que la surface d'érosion se colmatent ; il y a un nivellement quasi parfait de la plaine à certains endroits. La discontinuité entre ces apports et le substratum du bas

glacis est très souvent marquée par des lignes ou des lits de cailloux de quartz et de gravillons ferrugineux. Les cuirasses anciennes mises à affleurement incluent presque toujours à leur surface de très nombreux cailloux de quartz qui disparaissent dans le reste de la cuirasse. On peut voir très souvent de gros blocs de cuirasse ennoyés dans les apports récents avec lesquels ils n'ont aucun lien pédogénétique actuel.

L'HYPOTHÈSE DE L'EXISTENCE DE DEUX OU PLUSIEURS PHASES D'APPORT

Ces apports ont eu lieu en deux ou plusieurs phases dont les premières sont gravillonnaires ou (et) argilo-sableuses en zone à altération kaolinitique, gravillonnaires ou (et) argileuses en zone à altération montmorillonitique, et les dernières sableuses ou (et) gravillonnaires.

Ces deux phases principales d'apports correspondent à deux périodes de sédimentation distinctes.

Déjà, sur le terrain, devant la difficulté, sinon l'impossibilité, d'interpréter de nombreux profils de la zone kaolinitique dans un contexte d'évolution type ferrugineux tropical en place, nous avons été amenés à émettre l'hypothèse selon laquelle nous aurions deux types d'apports :

- les apports superficiels récents, sableux à sablo-argileux, apportés par le ruissellement, mieux triés et par conséquent plus appauvris en argile par le fait même de ce triage, les fractions fines étant entraînées vers les thalwegs.
- les apports de profondeur qui ont servi au colmatage des creux pendant la période d'arasement et qui sont dérivés des altérations de granite remaniées en masse, beaucoup moins triés, donc non appauvris en argile.

VÉRIFICATIONS DE L'HYPOTHÈSE DE L'EXISTENCE DE PLUSIEURS PHASES D'APPORTS

Pour vérifier cette hypothèse, l'étude de la fraction sableuse a été entreprise sur les échantillons de nombreux profils, y compris les échantillons concrétionnés et les cuirasses.

Il faut signaler cependant qu'il s'agit d'apports sur des distances insuffisantes pour provoquer l'usure des grains de feldspaths et de quartz, distances qui peuvent être importantes selon CAILLEUX et TRICART (1959) : "dans les fleuves, c'est seulement au bout de 300 km que les non-usés sont devenus émoussés, luisants, de contour général d'ailleurs encore subanguleux et dans une proportion faible.....". Signalons aussi que, d'après ces mêmes auteurs, "les feldspaths résistent à l'usure mécanique à très peu de chose près, aussi bien que les quartz", et la richesse en feldspaths indiquerait généralement une altération chimique faible avec prépondérance des actions mécaniques dans l'attaque des roches-mères, ou une reprise d'érosion active (c'est le cas ici) ayant permis l'attaque directe des horizons profonds peu altérés.

Nous envisagerons successivement la nature des sables, leur granulométrie et l'examen microscopique de quelques horizons.

Nature des sables

Les déterminations précises (en lumière convergente) effectuées obligamment par J.M. WACKERMANN et C. LAUNAY, géologues au Centre O.R.S.T.O.M. de Dakar, n'ont pu encore être effectuées en nombre suffisant. Elles doivent être complétées dans le cadre de nos études ultérieures.

La discontinuité dans l'origine des apports nous semble se traduire en première approximation par une discontinuité dans la nature des sables.

Ainsi, après attaque à l'acide chlorhydrique bouillant, lavage et dispersion avec agitation au pyrophosphate, les horizons argileux, et surtout les arènes granitiques profondes, paraissent contenir de nombreux cristaux blancs kaolinitisés dont l'importance n'est proportionnelle ni à l'état de ferruginisation du matériau, ni à la teneur en argile. On pourrait les considérer comme des agrégats secondaires d'argile, mais leur présence ne paraît pas modifier la forme des courbes granulométriques par rapport à celle des horizons superficiels, et, sur la majeure partie de leur tracé, ces courbes restent souvent parallèles à celles des horizons de surface, alors qu'une agrégation secondaire devrait se traduire par une modification de la pente et de l'allure générale des courbes.

Par ailleurs, les tendances générales dégagées à partir de l'allure des courbes sont confirmées par l'examen des refus et par les lames minces réalisées sur la fraction sableuse.

Nous considèrerons donc ces grains blancs kaolinisés comme des feldspaths altérés, et leur présence en profondeur comme une discontinuité par rapport aux horizons de surface.

Cette discontinuité apparaît dans de nombreux profils où les sables des horizons superficiels sont parfaitement limpides, alors que ceux des horizons argileux d'apport contiennent quelques feldspaths altérés, et que ceux des arènes granitiques de profondeur sont très riches en ces éléments.

D'une façon générale, dans les échantillons ayant fait l'objet de déterminations, la proportion des feldspaths est relativement importante, de l'ordre de 20-25 %, atteignant parfois 40 % dans les arènes granitiques de profondeur ; les plagioclases subsistent toujours à l'état de traces, atteignant parfois 1 %, et l'on peut trouver en surface des minéraux très rapidement altérables dans ces conditions climatiques, telle la hornblende verte. C'est là la preuve d'une altération chimique relativement peu poussée, provenant du fait que les sols sont développés dans des arènes granitiques mises à nu par l'érosion. Ces résultats concordent bien, tant avec notre interprétation géomorphologique qu'avec la classification pédologique adoptée ici.

L'analyse triacide de quelques carapaces a bien montré, comme nous l'avons vu, par la proportion des bases totales (notamment de sodium) qu'il s'agit d'arènes granitiques ferruginisées.

Mais l'analyse minéralogique des argiles signale 100 % de kaolinite avec seulement des traces d'illite, indiquant ainsi, et théoriquement, une forte altération chimique. Cependant, si on peut et si l'on doit juger du type d'altération d'après la minéralogie des argiles, il apparaît difficile d'utiliser cette donnée pour juger de l'intensité de l'altération. Il semble que la formation exclusive de kaolinite soit typique du premier stade d'altération même de ces matériaux, puisque cela se produit dans des arènes granitiques contenant encore 44 % de feldspaths (prélèvement 204), des traces de plagioclases, et même des débris de hornblende verte, et qu'elle n'indique pas obligatoirement une profonde altération chimique du matériau, mais un type d'altération où les bases sont expurgées du milieu.

Granulométrie des sables : Examen des refus

Dans ce domaine, de fortes discontinuités apparaissent dans certains horizons : les apports superficiels ne présentent pas de refus (au tamis de 2 mm) tandis que les horizons de profondeur et particulièrement les arènes granitiques présentent des refus constitués de gros graviers (et même parfois de cailloux) de quartz et de feldspaths.

: Tamisage des sables

L'étude granulométrique des sables n'a été réalisée que sur la terre fine. Aussi insisterons-nous surtout sur les profils sans refus.

Nous avons utilisé les graphiques en log probabilité de BILLY (1954) et comme il ne s'agit que de comparaisons à l'intérieur du même profil, il n'a pas été jugé utile de revenir à la courbe cumulative normale. Nous avons tenté aussi un essai d'utilisation des graphiques rectangulaires de DOEGLAS (1960) appliqués ici aux seules fractions sableuses. Il ne s'agit que d'une application du théorème de l'homothétie.

L'examen des courbes cumulatives (fraction sableuse seule en log probabilité et sédiment entier pour quelques profils en courbes cumulatives normales) est très significatif.

L'augmentation du taux d'argile en profondeur ne se traduit pas par une diminution corrélative de la fréquence cumulée des sables compris entre 2 mm et 50μ - diminution qui devrait se répercuter, dans le cas d'un enrichissement en argile par lessivage à partir des horizons superficiels, sur chaque fraction proportionnellement à sa fréquence cumulée.

Les fréquences cumulées des fractions sableuses comprises entre 2 mm et 50μ restent plus élevées en profondeur qu'en surface.

En profondeur, les pentes des courbes cumulatives (sédiment entier) diminuent brusquement à partir de 50μ traduisant une forte diminution de la fréquence des sables très fins (50μ à 20μ). Parfois comme dans l'échantillon VRN 265, cette diminution s'observe nettement à partir de 300μ . En surface, au contraire, la pente de la courbe cumulative se redresse de plus en plus à mesure qu'on va vers les fractions fines de sables ; le redressement maximum est acquis pour les fractions sableuses très fines (80μ à 20μ). Ce processus traduit une augmentation de la fréquence des sables à mesure qu'on va vers les fractions fines. Il apparaît de façon quasi régulière sur les courbes cumulatives des

seules fractions sableuses (en échelle de probabilité). On constate sur ces courbes, pour les horizons superficiels, un redressement constant de la pente des courbes cumulatives à partir des diamètres $630\ \mu$ ou $500\ \mu$; tandis que pour les horizons profonds on constate, au contraire, à partir de ces mêmes diamètres, un fléchissement plus ou moins accentué de la pente des courbes cumulatives. Les figures 15a et 15b schématisent les positions des courbes cumulatives à partir des diamètres 630 à $500\ \mu$. Au contraire, en ce qui concerne les fractions grossières des sables, il y a un fléchissement de la pente des courbes cumulatives pour les horizons superficiels, à partir le plus souvent des diamètres 125 à $160\ \text{mm}$ ($\alpha = -1$ à -2).

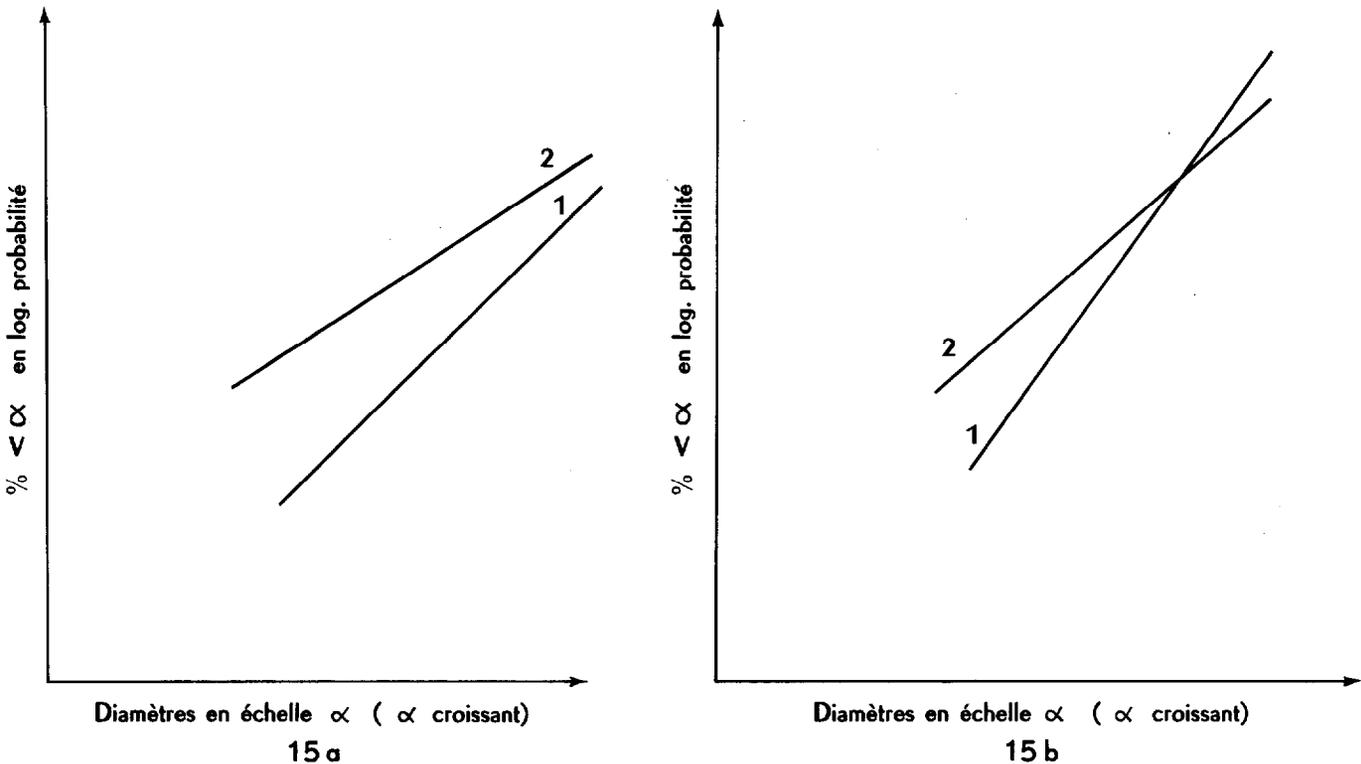


Fig. n° 15
 1 - horizons superficiels
 2 - horizons de profondeur

Ce phénomène correspond à une élimination de ces fractions des horizons superficiels. Le plus souvent, il y a un certain parallélisme des courbes dans les portions comprises entre les diamètres $125-160\ \text{mm}$ et 630 à $500\ \mu$, ce qui signifie un maintien de la fréquence des sables compris entre ces diamètres.

L'examen des graphiques rectangulaires inspirés de DOEGLAS, qui permettent d'étudier l'évolution des rapports entre les différentes fractions de sables à travers un même profil, apporte des conclusions assez identiques :

- diminution de la fréquence des éléments grossiers (α plus grand que $250\ \mu$) dans les horizons superficiels ;
- augmentation de la fréquence des éléments fins (α plus petit que $250\ \mu$) ; mais cette augmentation ne se fait pas sentir de la même façon dans les différents profils. Dans certains profils comme le VRN 26 et le VL 15 (apports de bas de pente) on constate très nettement que l'augmentation de la fréquence des sables fins en surface se fait en conservant un

rapport constant entre les pourcentages d'un même diamètre de la surface vers la profondeur : les points figuratifs d'un même diamètre sont alignés sur une droite et toutes ces droites sont concourantes à l'origine 0 ; tandis que l'on constate en même temps en surface, une véritable élimination des sables grossiers (supérieurs au diamètre de référence, ici 250 μ).

On constate le même processus dans de nombreux profils (VRB 20, VRB 27, VRK 43, VRK 32), mais jusqu'à une certaine profondeur seulement, c'est-à-dire semble-t-il jusqu'aux arènes granitiques profondes qui paraissent former des familles de matériaux différents.

Dans ces phénomènes d'apports, tout se passe donc comme si, en surface, un triage par le ruissellement le long d'une pente faible avait éliminé l'argile (emportée dans les thalwegs) et les sables grossiers (restés en haut de pente) au profit des sables fins et très fins.

Cette élimination des éléments grossiers en surface, qui pourrait apparaître comme un "artéfact" dû à l'absence des agrégats argileux en surface, est bien confirmée par l'examen des refus et aussi par les évaluations que WACKERMANN a faites sur les plaques minces réalisées à partir des sables soumis au tamisage (sables de la terre fine).

Profils	Prélèvements	Dimension moyenne des sables
Profil VRK 45	VRK 451	1 mm
	VRK 452	1,6
	VRK 453	3
Profil VRP 1	VRP 11	1,5 mm
	VRP 12	3
	VRP 13	4,5
	VRP 14	4,5
	VRP 15	4,5

Nous avons déterminé quelques coefficients de triage (Q_g de TRASK) ne concernant ici que la fraction sableuse :

Prélèvements	1	2	3	4	5	6
Profils VRN 26	2.02	1.95	2.08	2.79		
VL 15	2.43	2.30	2.72	2.76		
VRB 20	1.61	1.64	1.70	1.78	2.02	
VRK 45	1.65	1.79	1.87	2.10		
VRP 1	1.76	1.86	1.97	1.82	2.32	2.40

Le coefficient de triage augmente en profondeur, c'est-à-dire que le triage diminue en profondeur et particulièrement dans les arènes granitiques.

Examen microscopique de plaques minces de sols (en collaboration avec J.M. WACKERMANN et C. LAUNAY)

Les prélèvements des profils VL 15, VRK 45 et VRP 1, ainsi que le prélèvement VRB 204 du profil VRB 20, ont fait l'objet de plaques minces de sols. On ne constate aucun phénomène d'orientation des argiles dans les profils VRK 45 (prélèvements VRK 451, 452 et 453), VRP 1 (prélèvements VRP 11 à VRP 15), et dans le prélèvement VRB 204 on ne trouve que quelques légers enrobages argileux. Ce sont pourtant des pseudo-profil ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions ou carapace, certains horizons apparaissant au microscope tels de véritables arènes granitiques.

Un profil seulement, le VL 15, montre de fortes orientations de l'argile, mais au lieu que le phénomène se produise uniquement pour les horizons illuviaux, il intéresse la presque totalité du

profil, y compris un pseudo-horizon lessivé. Il disparaît seulement dans l'horizon, tout à fait superficiel, remanié. Par ailleurs, il s'agit très nettement d'une orientation de l'argile, non autour des unités structurales, mais autour des grains de quartz et de feldspaths. Si on joint ces caractéristiques au fait que le profil est situé en bas de pente, à quelque 50 m de la Volta Blanche, on peut conclure que l'orientation des argiles vient de l'origine même des dépôts.

Les discontinuités morphologiques

L'existence de la surface d'érosion façonnée dans le bas glacis est évidente et les apports qui ont colmaté cette surface y reposent très souvent sur des lits ou des lignes de cailloux (quartz, feldspaths, fragments de roches), de graviers, ou (et) de gravillons ferrugineux (*), et cela dans toute l'étendue des zones étudiées, qu'elles soient kaoliniques ou vertiques.

En ce qui concerne la différenciation des apports en deux ou plusieurs phases, ce phénomène apparaît plus typiquement encore dans la zone vertique, où il existe une discontinuité entre les premières phases, provenant de remaniements en masse d'altérations argileuses vertiques, et les dernières phases sableuses ou gravillonnaires, provenant de l'attaque des roches à nu (granites et cuirasses).

Ce recouvrement généralisé dans la zone vertique confirme l'existence et le mécanisme de nos deux phases d'apports.

Par ailleurs dans la zone kaolinique, les apports sableux récents apparaissent bien comme une phase de nivellement récent (par colmatage) qui recouvre indifféremment cuirasses et carapaces anciennes ou subactuelles, altérations ferruginisées de granites (parfois granite pegmatitique ou pegmatite, mettant alors nettement en relief l'origine du matériau sous-jacent et sa discontinuité avec le matériau sableux), recouvrements argilo-sableux des premières phases de dépôts.

Ce problème du polyphasage des matériaux de colmatage sera examiné à nouveau lors de l'étude des sols de la zone kaolinique (classés ici en sols hydromorphes) à la lumière d'arguments pédologiques

5.2.3.3 - La phase de dissection actuelle

Après ces phases de colmatage, une phase actuelle de dissection s'attaque aux remblais des anciens chenaux. Cette énergique reprise d'érosion se traduit le long des moindres ruisseaux par le creusement de ravins. Mais il ne semble pas qu'elle ait eu le temps d'attaquer sérieusement les colmatages de la plaine, car en de nombreux endroits des cuirasses et carapaces portent encore leur mince recouvrement sableux récent. Le tronquage des horizons superficiels par rapport à d'éventuels horizons d'accumulation n'a pas joué encore.

5.3 - Le réseau hydrographique

5.3.1 - CARACTÉRISTIQUES ET ÉVOLUTION

Il est constitué par la Volta Blanche et son affluent le plus important, la Volta Rouge.

La Volta Blanche n'est individualisée que jusqu'à Kirsi ; en amont, elle est constituée de plusieurs thalwegs dont les trois principaux proviennent de Titao, Ouahigouya et Lago (DUCCELLIER, 1963). C'est une rivière temporaire qui, déjà en janvier, se réduit en certains endroits à des mares reliées par des rigoles d'écoulement. En mars et avril, elle se réduit à quelques mares d'eau plus ou moins importantes. Les principaux affluents : Massili, Sicilli, Nouaho, sont aussi des rivières temporaires s'arrêtant vite de couler après la saison des pluies.

* Dans toute cette étude, gravillon signifie élément ferrugineux d'origine allochtone certaine, gravier est réservé aux éléments non ferrugineux.

La Volta Rouge n'a pas de source, elle vient des environs de Boussé, et après novembre-décembre, elle se réduit aussi à un chapelet de mares.

Comme l'a signalé DRESCH (1947), les principales rivières apparaissent ici comme surimposées.

Dans les feuilles au 1/200 000 de Tenkodogo et de Pô, la direction générale d'écoulement des deux Volta est grossièrement nord-ouest, c'est-à-dire perpendiculaire à la direction générale des plis du granito-gneiss (nord-nord-est à nord-est). Localement cependant, les Volta suivent la direction des plis du socle.

Le réseau hydrographique secondaire, surtout celui de la Volta Rouge sur la feuille de Pô, apparaît constitué de rivières parallèles entre elles et perpendiculaires à la Volta et qui suivent donc en gros la direction générale des plis du socle : il apparaît donc comme d'origine structurale.

5.3.2 - LE SYSTÈME ALLUVIAL

Le système alluvial très jeune reproduit l'histoire de l'érosion de la pénéplaine. Il comprend principalement, pour chaque Volta, une plaine de remblaiement, dans laquelle la rivière serpente actuellement en venant butter dans les convexités de sa courbe contre la pénéplaine qui est constituée tantôt par la cuirasse ancienne, tantôt par le granito-gneiss et les schistes.

Cette plaine de remblaiement, qui conserve les témoins des divagations du lit sous forme de bras morts, est limono-sableuse à sableuse à l'aval, et argileuse à argilo-limoneuse à l'amont. Cela semble, à première vue, contradictoire, mais s'explique par les caractéristiques des deux phases de sédimentation qui ont été distinguées :

a - Dans la première phase, concomitante des premiers colmatages de la plaine, les Volta remblaient leur lit aval essentiellement par des matériaux provenant de l'attaque du socle par les petits affluents et par les Volta elles-mêmes. Ce remblai est généralement sableux ; plus grossier



Photo 5 -

La Volta Rouge à l'aboutissement de la piste "boussole" 20°N partant de Ponkoyan : les alluvions récentes sont plaquées sur le niveau cuirassé qu'entaille le lit mineur.

et à stratification très marquée en profondeur, il devient plus limoneux en surface, marquant bien ainsi la tendance au faiblissement de la capacité de transport des Volta. Il repose directement sur le granito-gneiss ou sur des restes de cuirasse ancienne, c'est-à-dire sur le même substratum que les apports de la pénélaine : ainsi, à l'aboutissement de la piste "boussole 20°N" qui va de Pankoyan à la Volta Rouge (même aboutissement que la piste-piétons Nobéré-Kalinga-Volta Rouge au dire des chasseurs rencontrés là), on peut avoir des alluvions sableuses (à sables fins) posées sur des restes de cuirasse ancienne incluant de très nombreux galets et cailloux de quartz (photo 5). Ces restes de cuirasse, qui rappellent beaucoup la carapace du profil VRZ 53 cité plus haut, sont eux-mêmes plaqués sur la roche constituée par une pegmatite. Vers l'emplacement actuel du lit mineur, la cuirasse s'épaissit avec un aspect feuilleté. Elle est entaillée par le lit mineur dans lequel de nombreux gros blocs de cuirasse basculent.

Pendant que les Volta remblaient leur lit aval, les produits grossiers de l'attaque du socle et de la cuirasse se déposaient dans les petits affluents et des lambeaux de plaine colluvio-alluviale, argilo-sableux à sablo-argileux, se déposaient à l'amont en bordure du lit. En effet, si on considère les dépôts alluviaux de certains petits affluents dans la feuille au 1/200 000 de Tenkogodo, on trouve à leur base des produits grossiers mêlés aux alluvions ou (et) formant un lit (gravillons (*) ferrugineux, graviers et cailloux de quartz et de feldspaths : cf profils VN 3, VN 6, VY 76, ...) et reposant sur le granite peu altéré (profil VN 3), ou sur une altération argileuse du granite (profil VY 76). Dans le cas du profil VN 3, ces produits grossiers sont constitués de sables grossiers feldspathiques et quartzueux.

Par ailleurs, le remblai sableux à limoneux, par sa proportion importante de minéraux peu altérés, se traduisant par des paillettes de mica ou des grains de feldspaths parfois bien visibles, et surtout par la proportion relativement élevée de bases totales : 34 à 48 méq. pour 100 g dans le profil VY 5, 19 à 28 méq. pour 100 g dans le VN 80, et 92 méq. pour 100 g dans le VN 26 (prélèvement VN 262 constitué de sables fluviatiles), semble bien provenir d'une attaque de la roche.

Les apports colluvio-alluviaux, argilo-sableux à sablo-argileux, reposent parfois sur une phase plus graveleuse et même sur un lit de graviers comme dans le profil VL 2 (à 600 m de la Volta sur la route Limnoghin - Volta Blanche, axe routier Ouagadougou-Zorgho) où les graviers très émoussés ressemblent à ceux qui tapissent le lit mineur de la Volta. Mais cette phase graveleuse est relativement peu évoluée : dans le VL 2, c'est un horizon à quelques rares concrétions ferrugineuses cassables en voie de formation et à nombreuses taches calcaires blanchâtres à aspect de voile arachnéen, selon le terme utilisé par G. CLAISSE.

L'alluvionnement sableux à limoneux, dans sa position la plus amont, est bordé par ces apports colluvio-alluviaux qui forment alors des bourrelets le dominant un peu.

b - Dans la deuxième phase, qui correspond à un affaiblissement très marqué des transports, tant sur la pénélaine que dans les Volta, il y a décantation argileuse à l'amont et dans les bras morts qui parsèment le remblai sableux. Dans la feuille au 1/200 000 de Tenkodogo que nous considérons comme l'aval de la zone étudiée, on retrouve parfois ce colmatage argileux au dessus des apports grossiers ou des sables (profils VN 3, VN 6, ...).

Les Volta entaillent actuellement ces alluvions récentes, particulièrement le remblai sableux à limoneux où elles s'encaissent de même que leurs grands affluents, souvent de 4 m ou plus, tandis que, dans la partie amont, l'encaissement est peu ou pas marqué. Il s'agit d'un encaissement très récent, à allure rapide, se traduisant par une symétrie des versants malgré la fragilité des matériaux.

En ce qui concerne son importance, la largeur du système alluvionnaire, limitée à celle de l'ancien chenal, est le plus souvent de l'ordre de 300 à 500 m. Elle peut être réduite par places à la largeur du lit actuel des Volta, mais elle peut aussi atteindre par endroits 700 à 800 m.

* Gravillon (origine d'apport certaine) est toujours opposé ici à concrétion (formée en place).

5.4 - Conclusion

Cette étude du milieu naturel nous a permis de dégager les caractéristiques fondamentales nécessaires à la compréhension de la morphologie et de la genèse des sols, et qui sont :

- a - l'importance de l'hydromorphie, qui apparaît comme un phénomène morpho-climatique de ces zones ;
- b - L'existence de deux pôles d'altération aussi climatiques l'une que l'autre : un pôle kaolinitique et un pôle montmorillonitique ;
- c - le rôle de la mise en place des matériaux dans l'interprétation de différences texturales qui, à première vue, peuvent paraître dues à des phénomènes de lessivage en place, et qui sont en réalité attribuables à des variations dans le mode d'apport. Ainsi, les matériaux kaolinitiques qui recouvrent le bas glacis, grâce à leur aspect pseudo-lessivé et à leur superposition aux restes de glacis anciens dont ils dérivent, réalisent des pseudo-profil parfaits de sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions ou à cuirasse et carapace ;
- d - l'importance des héritages d'évolution pédologique ancienne. C'est ainsi par exemple que le cuirassement qui est généralement considéré comme un caractère pédologique fondamental des régions soudanaises, nous est apparu en maints endroits comme un héritage ancien sénilité, soit par un changement dans le type d'altération (zone montmorillonitique), soit par disparition des nappes hydrostatiques (dans la zone kaolinitique). Il n'est en continuité avec l'évolution pédologique actuelle que dans la zone kaolinitique à nappes hydrostatiques.

L'expérience nous a montré qu'il sera très souvent difficile, sinon parfois impossible, de faire la part réelle du phénomène pédologique ancien quand il y a continuité avec le phénomène pédologique actuel. La collaboration géomorphologues-pédologues s'avère nécessaire pour résoudre ce problème d'un intérêt scientifique important.

Cette étude est une première approximation : elle sera poursuivie afin de mieux préciser le mode de mise en place des matériaux et les résultats de la pédogénèse réelle actuelle.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBREVILLE (A.) - 1949 - *Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale*. Paris, Société d'Éditions Géographiques Maritimes et Coloniales.
- BILLY (G.) - 1954 - *Étude des courbes normales de dispersion. Éléments de statistiques à l'usage des naturalistes*. Centre de Documentation Universitaire, Paris.
- BONIFAS (M.) - 1959 - *Contribution à l'étude géochimique de l'altération latéritique*. Thèse. *Mém. Serv. Carte géol. Alsace-Lorraine*, n° 17.
- BRAMMER (H.) - 1959 - *Visit to Haute-Volta*. Rapport ronéotypé. Kumasi, Dept of Soil and Land-Use Survey.
- BRASH (H. T.) - 1962 - *in Agriculture and Land-Use in Ghana*, edited by J. BRIAN WILLS, published for the Ghana Ministry of Food and Agriculture.
- BRUCKNER (W.) - 1955 - The mantle rock (laterite) of the Gold Coast and its origin. *Geologische Rundschau*, Band 43, p. 307-327, cité par MICHEL.
- CAILLEUX (A.) et TRICART (J.) - 1959 - *Initiation à l'étude des sables et des galets*. 1. Texte. Centre de Documentation Universitaire, Paris.

- DAVEAU (S.), LAMOTTE (M.) et ROUGERIE (G.) - 1962 - Cuirasses et chafnes birrimiennes en Haute-Volta. *Annales de Géographie*, LXXXI^{ème} année, 387, sept-oct., 460.
- DOEGLAS (D.J.) - 1960 - Sedimentological data for soil mineralogy. *Transactions of the 7th International Congress of Soil Science*, Madison, VII, 13, 534.
- DRESCH (J.) - 1947 - Pénéplaines africaines. *Annales de Géographie*, 56, p.125-137.
- DRESCH (J.) - 1953 - Plaines soudanaises. *Revue de Géomorphologie Dynamique*, 1, 4^{ème} année, p.39-44.
- DUCELLIER (J.) - 1963 - Contribution à l'étude des formations cristallines et métamorphiques du centre et du nord de la Haute-Volta. *Mémoires du B.R.G.M.*, 10.
- FOURNIER (F.) - 1958 - *Etude de la relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques*. Thèse. Paris.
- FURON (R.) - 1960 - *Géologie de l'Afrique*. 2^{ème} édition Payot Paris.
- HILTON (T.E.) - 1963 - The geomorphology of north-eastern Ghana. *Ann. de Géomorphologie*, Neue Folge Band 17, déc., Heft 4, p.308-326.
- JUNG (J.) - 1958 - *Précis de Pétrographie*. Masson Ed. Paris.
- KALOGA (B.) - 1964 - Reconnaissance pédologique des bassins versants des Volta Blanche et Rouge. 1. Etudes pédologiques. 2. Résultats analytiques. Centre O.R.S.T.O.M. Dakar, Rapport ronéotypé.
- KALOGA (B.) - 1965 - Sols et Pédogenèse dans les bassins versants des Volta Blanche et Rouge (cours moyens). Centre O.R.S.T.O.M. Dakar, Rapport ronéotypé.
- KING (L.C.) - 1962 - *Geomorphology of the earth*. Oliver and Boyd, Edimbourg.
- LAMOTTE (M.) et ROUGERIE (G.) - 1961 - Les niveaux d'érosions intérieures de l'Ouest africain. Recherches Afric. *Etudes Guinéennes* (nouv. série), n° 4, oct.-déc., p.51-69.
- MICHEL (P.) - 1959 - Rapport de mission au Soudan occidental et dans le sud-est du Sénégal. Fasc.1, surfaces latéritiques et glacis cuirassés, nov., Arch. S.G.P.M.
- MICHEL (P.) - 1959 - L'évolution géomorphologique des bassins du Sénégal et de la Haute-Gambie. Les rapports avec la prospection minière. *Revue de Géomorphologie Dynamique*, mai-déc. n°5-6 à 11-12, p.117-143.
- PEDRO (G.) - 1960 - Altération expérimentale des roches par l'eau sous atmosphère de CO₂. *C.R. Ac. Sc. Paris*, (14 mars), T.250, n° 11, p.2035-2037.
- ROUGERIE (G.) - 1961 - Modelés et dynamiques de savane en Guinée orientale. Recherches africaines. *Etudes guinéennes* (nouv. série), n° 4, oct.-déc., p. 24-50.
- SAGATZKY (J.) - 1947 - Notice explicative de la feuille Tenkodogo-est, S.G.P.M. Dakar.
- SAGATZKY (J.) - 1954 - *La géologie et les ressources minières de la Haute-Volta méridionale*. Thèse. *Bull. de la Direction des Mines de l'A.O.F.*, n° 13.
- SCHOFIELD (R.K.) - 1950 - Soil moisture and evaporation. *C.R. IV Congrès internat. Sc. du Sol*, Amsterdam, 1950, 2, p.20-28.
- VOGT (J.) - 1959 - Aspect de l'évolution morphologique récente de l'ouest africain. *Annales de Géographie*, n° 367, mai-juin, p.193-206.