

REPUBLIQUE DE HAUTE VOLTA
MINISTERE DU PLAN DU DEVELOPPEMENT RURAL
DE L'ENVIRONNEMENT ET DU TOURISME
AMENAGEMENT DES VALLEES DES VOLTA

ETUDE MORPHO-PEDOLOGIQUE
DES BLOCS EXPERIMENTAUX

DE MOGTEDO
KAIBO
BANE
TIEBELE

Echelle 1/20 000

Rapport GENERAL

I.R.A.T.

INSTITUT DE RECHERCHES AGRONOMIQUES
TROPICALES ET DES CULTURES VIVRIERES

PÉDOLOGIE

J. Teissier
1974

5 MAI 1975

TABLE DES MATIERES

	<u>pages</u>	
Préambule	1	
 1ère PARTIE - PRESENTATION DE L'ETUDE -----		
1 - Buts et origine de l'étude	3	
2 - Conceptions de travail - Méthodes cartographiques	3	
3 - Déroulement des études	5	
4 - Situation et présentation des quatre blocs expérimentaux	7	
 2ème PARTIE - LE MILIEU NATUREL -----		
A - <u>LES DONNEES DE L'ENVIRONNEMENT</u>		
I - <u>LE CADRE GEOLOGIQUE</u>		9
1 - Généralités	9	
2 - Les formations géologiques	9	
2.1. Les formations d'âges indéterminés	9	
2.2. Les formations Birrimiennes	10	
2.3. Les formations filonniennes	10	
II - <u>LE CADRE GEOMORPHOLOGIQUE ET LES FORMATIONS SUPERFICIELLES ASSOCIEES</u>		10
1 - Les cuirassés du niveau supérieur	11	
2 - Les niveaux cuirassés inférieurs et les formations superficielles associées	12	
3 - Les étapes de la morphogénèse ancienne	14	
3.1. - La surface néogène	14	
3.2. - Le moyen glacis ou surface fonctionnelle ..	15	
4 - Conclusion	17	

III - LE CLIMAT

1 - Généralités sur le climat de la Haute-Volta	17
2 - Les caractéristiques climatiques	20
2.1 - Les précipitations	20
2.1.1 - Le régime annuel des pluies	20
2.1.2 - Variabilité et intensité des précipitations, incidence agronomique et morphopédologique	20
2.2 - Les températures	22
2.3 - Etat hydrométrique, évaporation et évapotranspiration	22
3 - Indices climatiques	23
3.1 - Indice de FOURNIER	23
3.2 - Indice de drainage calculé de HENIN	24
4 - Conclusion	25

IV - LA VEGETATION

V - <u>CONCLUSION SUR L'ETUDE DES CARACTERISTIQUES DE L'ENVIRONNEMENT</u>	26
---	----

B - LA DYNAMIQUE DU MILIEU NATUREL - LES LIAISONS MORPHOGENESE - PEDOGENESE

I - <u>GENERALITES</u>	27
II - <u>LES PROCESSUS DE LA PEDOGENESE</u>	27
1 - Les causes de la dégradation de la végétation	28
2 - Nature et intensité des processus	30
3 - Notice explicative de la légende "morphodynamique" de la carte morphopédologique	35

3ème PARTIE - LES CONSEQUENCES DE LA MORPHOGENESE SUR LA PEDOGENESE - ETUDE DES MILIEUX DE PEDOGENESE ET CARACTERISATION DES TYPES DE SOLS

1 - Généralités	37
2 - Le rôle des héritages dans la pédogénèse actuelle	37

	<u>pages</u>
2.1 - Les héritages cuirassés	38
2.2 - Les héritages vertiques	38
2.3 - Les recouvrements	39
3 - Les milieux de pédogénèse	40
3.1 - Milieux de pédogénèse embryonnaire non caractérisée	41
3.2 - Milieux de pédogénèse peu caractérisée	47
3.3 - Milieux de pédogénèse ferrugineuse	52
3.4 - Milieux de pédogénèse brunifiante	57
3.5 - Milieux de pédogénèse verticale	65
3.6 - Milieux de pédogénèse hydromorphe	66
4 - Conclusions sur la dynamique du milieu naturel ..	67
 4ème PARTIE - LES CONTRAINTES DU MILIEU NATUREL ----- ET LES PROPOSITIONS POUR SON AMENAGEMENT ----- 	
1 - Généralités	73
2 - Contraintes et potentialités des sols	73
2.1 - Contraintes édaphiques	74
2.2 - Contraintes hydrologiques	75
2.3 - Contraintes morphodynamiques	77
2.4 - Conclusions	79
3 - Les classes de propositions d'aménagement	80
3.1 - Les objectifs de l'aménagement	80
3.2 - Les classes de propositions d'aménagement ..	82
4 - Les liaisons milieu physique - expérimentation agronomique	90
4.1 - Caractéristiques générales des zones expéri- mentales	91
4.2 - Thèmes d'expérimentations proposés	92
CONCLUSION GENERALE	95
BIBLIOGRAPHIE	97

P R E A M B U L E

Le Projet d'Aménagement des vallées des Volta a pour objectif l'aménagement et la mise en valeur des vallées des Volta Rouge et Blanche dépeuplées depuis de nombreuses années par les épidémies d'Onchocercose.

Les zones d'action du projet, situées de part et d'autre des Volta Blanche et Rouge, peuvent grossièrement être délimitées au Nord par la route Ouagadougou - Koupela, au Sud par la frontière du Ghana, à l'Ouest par la route Ouagadougou - Po et à l'Est par le méridien 0° 05' de longitude Est.

La superficie du périmètre de mise en valeur a été évaluée à 970 000 hectares, dont la répartition proposée est la suivante :

- Territoire agricole = 465 000 ha
- Elevage extensif = 261 000 ha
- Elevage intensif = 40 000 ha
- Forêt classée = 114 000 ha
- Réserve de faune = 90 000 ha.

Le projet prévoit l'installation, en quinze ans, de 150 000 personnes réparties en 260 villages.

Au cours de la première année les études pédologiques faisant l'objet des présents rapports concernaient quatre blocs expérimentaux :

- Bloc de MOGTEDO,
- Bloc de KAIBO,
- Bloc de BANE,
- Bloc de TIEBELE.

Le présent dossier comprend un rapport général relatif aux quatre blocs de MOGTEDO, KAIBO, BANE et TIEBELE, un rapport particulier relatif au bloc de MOGTEDO et 12 cartes correspondant aux quatre blocs.

P R E M I E R E P A R T I E



P R E S E N T A T I O N d e l ' E T U D E



1 - BUTS ET ORIGINE DE L'ETUDE

Par décision n° 241/CD/72/VI/F/13, le Comité Directeur du Fonds d'Aide et de Coopération (FAC) a accordé le financement du projet intitulé "Aménagement des Volta - Etudes complémentaires".

Le Ministère du Plan de la République de Haute-Volta a confié à l'Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des Cultures Vivrières (IRAT) sur contrat n° 5/73/PL en date du 15 mars 1973, l'exécution d'études pédologiques concernant quatre blocs expérimentaux situés sur les bassins des Volta Blanche et Rouge destinés à l'installation de nouveaux villages.

L'étude morphopédologique des quatre blocs expérimentaux avait pour but final d'établir une carte de propositions d'affectation des terres. Cette carte, dressée à l'échelle du 1/20 000, localise les terres cultivables destinées aux villages futurs et situe l'emplacement le plus représentatif du milieu pour l'implantation de parcelles d'expérimentation agronomique.

2 - CONCEPTIONS DE TRAVAIL - METHODES CARTOGRAPHIQUES

La méthodologie utilisée en Haute-Volta résulte d'une démarche de pensée qui s'est peu à peu dessinée parmi les pédologues de l'IRAT et qui s'est précisée grâce à l'appui de J. TRICART, Directeur du Centre de Géographie Appliquée de Strasbourg, Conseiller Scientifique de l'IRAT.

" Etudier un aménagement c'est déterminer comment une action s'insèrera dans la dynamique naturelle pour en corriger certains aspects défavorables et pour faciliter

l'exploitation des ressources écologiques qu'offre le milieu" (J. TRICART). Ce principe de base qui résume bien l'objectif, nous a amenés à intégrer beaucoup plus que par le passé les données physico-géographiques. Cette étude est d'une conception quelque peu différente de celle des études pédologiques classiques. On y insiste beaucoup plus sur la dynamique des facteurs de formation et d'évolution des sols que sur l'aspect purement descriptif. La connaissance des facteurs de pédogénèse permet de saisir avec plus de logique la nature et le mode de distribution des sols d'une région. L'évolution du milieu est régie par l'interdépendance des processus de pédogénèse et de morphogénèse; il est particulièrement important d'étudier et de comprendre la liaison dynamique existant entre ces deux séries de phénomènes; c'est pourquoi nous portons l'accent sur l'aspect dynamique de la géomorphologie, beaucoup plus que sur l'aspect physiographique, qui est essentiellement descriptif, statique. Les processus de morphogénèse (décapage, accumulation, glissements, etc...) contrecarrent la pédogénèse; cette dynamique plus ou moins intense ou rapide constitue un des facteurs explicatifs des caractères, du degré d'évolution et de la répartition des sols. De plus, la connaissance du sens de l'évolution morphogénétique est utile pour prévoir les aménagements nécessaires pour bloquer ou freiner une dynamique de dégradation des sols. Les processus de morphogénèse et de pédogénèse, dont dépendent les caractères et l'évolution du sol agissent, dans la plupart des cas, selon des vitesses relatives différentes dont la résultante s'exprime en termes de BILAN. Celui-ci permet de mettre en évidence des milieux de géodynamique traduisant le degré de stabilité du milieu : il peut être stable (dominance de la pédogénèse) ou instable (dominance de la morphogénèse). Entre ces deux types de milieux il existe une quantité d'intermédiaires (zones pénestables) où le Bilan s'oriente tantôt d'un côté tantôt de l'autre (*).

... / ...

(*) J. TRICART : "La géomorphologie dans les études intégrées d'aménagement du milieu naturel"; Ann. de géographie LXXXII, année 1972.

Cette approche conduit à l'élaboration de plusieurs cartes à l'échelle du 1/20 000 qui se suivent logiquement.

La carte morphopédologique :

confronte les interférences entre plusieurs groupes de données qui sont, la lithologie, le milieu de pédogénèse (en noir) et la morphodynamique (en rouge) exprimant l'état de stabilité du milieu.

La carte des contraintes :

met en lumière les principales limitations d'ordre édaphique (noir), hydrique (bleu) et morphodynamique (rouge) à l'utilisation des types de milieux définis et caractérisés dans la carte précédente.

La carte des propositions d'affectations des terres :

Cette dernière carte intègre les éléments fournis par les deux cartes précédentes; elle indique de façon synthétique les modes d'utilisation recommandés et indique les mesures de conservation ou de protection à prendre. La carte des contraintes est la base des propositions faites; celles-ci sont fonction des progrès techniques ou de la situation économique existant au moment de l'étude.

3 - DEROULEMENT DES ETUDES

La prospection des quatre blocs expérimentaux s'est effectuée du 15 mars 1973 au 15 février 1974. Pendant les mois d'Août, Septembre et Octobre 1973, il ne nous a pas été possible d'effectuer de mission sur le terrain par suite de l'impraticabilité des pistes d'accès aux blocs et de la végétation herbacée dense empêchant toute visibilité et circulation. En Mars 1973, une première reconnaissance du terroir de MOGTEDO a été faite par J. KILIAN, responsable de la Pédologie à l'IRAT. A l'issue de cette mission, les

conceptions de travail et les méthodes cartographiques ont été mises au point afin d'être appliquées à l'ensemble des autres terroirs. Un premier diagnostic morphopédologique a été établi à l'échelle du 1/20 000 (sur 3 000 ha) afin de tester les méthodes préconisées et de poser les problèmes à résoudre. Ce diagnostic qui peut être considéré comme un "banc d'essai" a été déjà présenté (1).

Lors de la prospection de terrain, la présence de S. SOLAGE et P. BERARD, hydrogéologues attachés au projet, nous fut d'un secours précieux pour la compréhension des données lithologiques et des régimes hydrologiques des eaux de surface et souterraines.

Enfin des observations de terrain ont pu être faites tout au long de l'année, en dehors donc de la période de prospection proprement dite; ces observations effectuées en particulier au cours d'averses, ont largement contribué à caractériser un certain nombre de processus de morphogénèse (ruissellement diffus, écoulement hypodermique, sapements, etc...) leur zone d'action, leur intensité et leurs effets tant sur le modelé que sur les sols.

Les documents dont nous disposions étaient les suivants :

- Carte IGN 1/200 000
- Cartes écologiques :
 - 1/500 000 OUAGADOUGOU,
 - 1/500 000 TENKODOGO,
 - 1/200 000 TENKODOGO,
- Photographies aériennes au 1/20 000, Mission HVO 1972 03200
- Mosaïques IGN, échelle 1/20 000.

... / ...

(1) J. KILIAN : "Aménagement des vallées des Volta" - Etudes pédologiques - Conceptions de travail (Application au terroir de MOGTEDO).

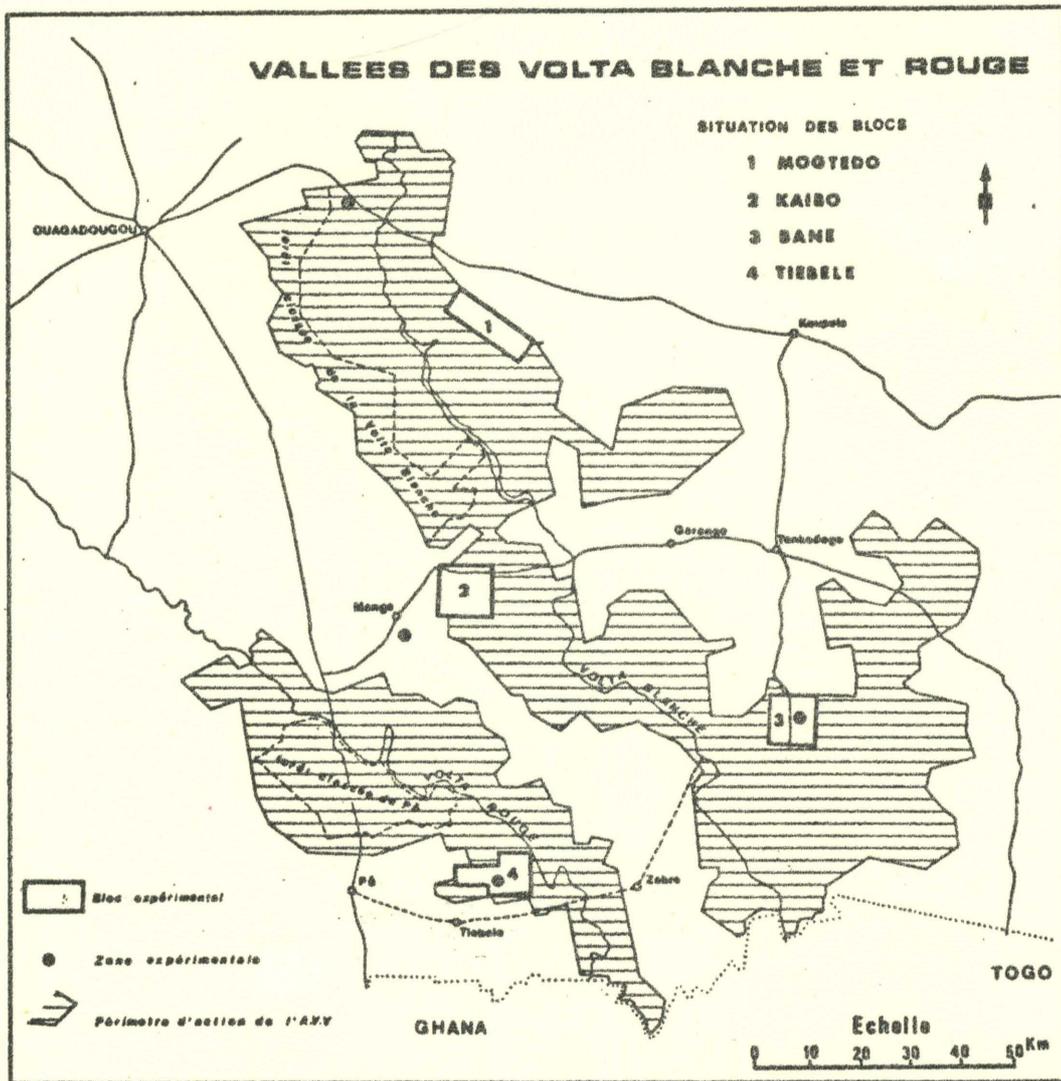


Figure : 1

Les diapositives IGN infra-rouge, fausses couleurs (échelle 1/20 000), mises à notre disposition n'ont pu être utilisées par suite d'une erreur technique lors de la prise de vue.

4 - SITUATION ET PRESENTATION DES QUATRE BLOCS EXPERIMENTAUX

(cf. fig. 1)

Les blocs de MOGTEDO, KAIBO et BANE, se situent dans le bassin versant de la Volta Blanche; le bloc de TIEBELE appartient au bassin de la Volta Rouge.

Ces quatre blocs ont été volontairement choisis éloignés les uns des autres afin de caractériser, dès la première année, les différents milieux morphopédologiques et leurs contraintes, susceptibles d'être rencontrés sur la zone d'action du projet et de proposer les thèmes principaux de l'expérimentation agronomique et les techniques d'aménagement du milieu.

DEUXIEME PARTIE

LE MILIEU NATUREL

A/- LES DONNEES DE L'ENVIRONNEMENT

I - LE CADRE GEOLOGIQUE

1 - GENERALITES

La Haute Volta est située sur la vaste pénéplaine antécambrienne et primaire africaine. Le socle est formé par des roches métamorphiques (Birrimien) et cristallines (Précambrien moyen et Précambrien). Le socle précambrien est recouvert en discordance par des formations sédimentaires gréseuses dans la partie Sud-Ouest du Pays (DEDOUGOU, BOBO-DIOULASSO, BANFORA). Une importante formation alluviale quaternaire recouvre la partie méridionale de la plaine du SOUNOU et forme la zone alluviale du SOUKOU (Nord-Ouest de la Haute-Volta).

2 - LES FORMATIONS GEOLOGIQUES

Elles correspondent à des formations d'âge indéterminé (granito gneiss, migmatites, amphibolites dacites) soit à des formations d'âge Birrimien (schistes, micaschistes, gneiss, orthogneiss, quartzites). Des formations filoniennes (quartz, pegmatites) se rencontrent très souvent sur les blocs, notamment à l'intérieur des séries métamorphiques.

2.1 - Les formations d'âge indéterminé

2.1.1 - Les granito-gneiss et les migmatites :

On groupe sous ces termes un grand nombre de roches cristallines de composition et de nature très différentes : granite à biotite, grano-diorite granite porphyroïdique à phénocristaux de feldspath rose, métadacites de teinte très foncée. Sur le bloc de MOGTEDO, ces formations occupent la partie Nord-Ouest et Sud-Est. A TIEBELE et à KAIBO, les granito-gneiss forment des affleurements très visibles dans la partie Sud des périmètres. Quant au bloc de BANE, les variations très importantes de la composition minéralogique des roches (biotite et amphiboles) nous ont amenés à grouper sous le nom de migmatites l'ensemble des roches formant la moitié Est du bloc.

2.1.2 - Les amphibolites

Ces roches, de couleur foncée (mélanocrates) possèdent un faciès de type ortho-amphibolitique. Sur les blocs de MOGTEDO et de KAIBO, cette formation est peu représentée alors qu'elle constitue environ la moitié du substratum des blocs de BANE et le tiers du bloc de TIEBELE.

2.2 - Les formations Birrimiennes

Elles correspondent à des sédiments anciens métamorphisés. Ces formations généralement orientées Nord-Est - Sud-Ouest ont des faciès extrêmement variés : schistes et micaschistes sur le bloc de MOGTEDO, schistes et orthogneiss sur le bloc de KAIBO, schistes, gneiss et quartzite sur le bloc de TIEBELE. Cette formation n'a pas été rencontrée sur le bloc de BANE.

2.3 - Les formations filoniennes

Elles sont représentées par des filons de quartz et de pégnatites; l'orientation de ces filons est généralement Nord-Est - Sud-Ouest et ils correspondent souvent à des accidents tectoniques (bloc de TIEBELE).

II - LE CADRE GEOMORPHOLOGIQUE ET LES FORMATIONS SUPERFICIELLES

ASSOCIEES

En dehors des affleurements rocheux pouvant fournir de véritables massifs rocheux (zone centrale de MOGTEDO et partie Nord du bloc de TIEBELE) et des buttes tabulaires cuirassées (bloc de MOGTEDO), le modelé général est plat ou faiblement ondulé. L'existence de deux niveaux cuirassés séparés par des dénivelés importants se traduit dans le paysage par l'existence de deux surfaces topographiques.

La première est formée par des buttes tabulaires, la seconde qui comprend les cuirasses du niveau inférieur, constitue la surface fonctionnelle actuelle.

1 - LES CUIRASSES DU NIVEAU SUPERIEUR

Elles n'existent que sur le bloc de MOGTEDO dans la partie Nord du domaine granito-gneissique et dans la partie Sud-Est sur schiste (butte de TOEYAMA). Ces cuirasses parfaitement individualisées sont caractérisées par leur forme, leur épaisseur, leur pendage et leur faciès.

Elles constituent le sommet de buttes tabulaires de formes allongées et de tailles variables; la plus importante de ces buttes est située dans la partie Nord du périmètre; elle s'allonge sur un kilomètre de long environ et sa largeur varie de 200 à 500 mètres. L'épaisseur de ces cuirasses est toujours supérieure à deux mètres et peut atteindre cinq mètres (butte de TOEYAMA, par exemple). Elles présentent toutes un pendage généralement très faible (0,5 à 2°) et ce n'est certainement pas le fait du hasard; ces cuirasses semblent en effet jalonner d'anciennes ondulations dont les nombreuses buttes situées aux alentours du périmètre sont les témoins. L'étude ultérieure d'autres blocs contigus devra nous permettre de relier entre elles ces différentes buttes et de retrouver l'ancienne surface topographique. Le faciès de ces buttes cuirassées est à peu près toujours le même : nous donnerons comme exemple la corniche de la butte de TOEYAMA :

0 - 2 m = dalle de cuirasse massive, conglomératique
Une matrice ferrugineuse cimentée de nombreux fragments de cuirasses pisolitiques et de quartz.

2 - 3 m = Cuirasse alvéolaire parcourue par de nombreuses canalicules et englobant des cailloux de quartz,

... / ...

3 - 5 m = Horizon bariolé, plus ou moins induré, semblable à l'horizon d'altération des sols ferrugineux.

au delà de 5 m = schistes altérés de couleur mauve avec taches blanchâtres, à texture limoneuse; la structure de la roche est encore visible.

L'observation de ces niveaux cuirassés montre donc qu'ils se sont formés, au moins dans leur partie supérieure, sur des produits remaniés issus du démantèlement d'anciens reliefs. Nous sommes donc amenés à considérer les cuirasses des niveaux supérieurs comme les témoins d'une cuirasse de versant ou de bas de pente.

On ne connaît pas de niveau cuirassé sur les blocs de KAIBO, BANE et TIEBELE. Il semble que, au Sud du bloc de MOGTEDO, les phénomènes de cuirassement ont été moins prouvés et que, si de semblables niveaux ont existé, les phases ultérieures de la morphogénèse les ont fait entièrement disparaître.

D'après les niveaux qui ont été définis et décrits par les auteurs qui se sont préoccupés de cette question (BRAMMER, MICHEL, VOGT, KALOGA, BOULET), il semble bien que l'on puisse rattacher les cuirasses du niveau supérieur à un reste de surface néogène.

2 - LES NIVEAUX CUIRASSES INFERIEURS ET LES FORMATIONS SUPERFICIELLES ASSOCIEES

Les cuirasses du niveau inférieur sont à peu près à la même hauteur que la surface du modelé actuel; leur épaisseur n'excède pas un mètre et sur le bloc de MOGTEDO elles se situent à proximité des niveaux cuirassés supérieurs.

Les cuirasses du niveau inférieur sont de type conglomératique et englobent des produits détritiques (fragments de cuirasses, blocs de quartz) provenant des niveaux cuirassés supérieurs. Ce niveau cuirassé repose en général

directement sur la roche peu altérée et même, dans la partie Nord-Ouest du bloc de MOGTEDO, directement sur le granite sain imprégné superficiellement par des solutions ferrugineuses.

- Les formations superficielles

Les épandages détritiques sont généraux sur l'ensemble des blocs et nous serons amenés à envisager l'importante influence qu'ils peuvent avoir sur les processus morphopédogénétiques actuels.

Les recouvrements gravillonnaires et graveleux occupent des surfaces considérables. Ce sont des matériaux détritiques comportant, outre des gravillons ferrugineux, des quartz non émoussés, de tailles variables, noyés dans une matrice sablo-argileuse. L'épaisseur de ces recouvrements varie de quelques centimètres à plus d'un mètre. Ces recouvrements peuvent être surmontés par un autre recouvrement à texture fine.

Les recouvrements fins

présentent une texture argilo-sableuse à sablo-argileuse et ne contiennent pas d'éléments grossiers à l'origine. Leur épaisseur est variable et peut atteindre plus d'un mètre dans les zones d'ennoyagé des petits bas-fonds. Les recouvrements fins reposent, soit sur le substratum peu altéré, soit sur l'horizon verticale par l'intermédiaire d'une nappe de gravats de quartz ou d'un horizon gravillonnaire.

Les recouvrements colluvo-alluviaux

sont les produits d'ennoyagé des grands bas-fonds. Ils présentent une texture fine et peuvent être épais de plusieurs mètres (BOMBORE).

Les formations alluviales

se rencontrent sur le bloc de TIÉBELE, de part et d'autre de la Volta Rouge et constituent les restes d'anciennes terrasses. Leurs textures sont sablo-limoneuses et leurs épaisseurs peuvent atteindre une dizaine de mètres.

3 - LES ETAPES DE LA MORPHOGENESE ANCIENNE

Sur le périmètre, la morphogénèse ancienne se traduit dans le paysage par l'existence de deux surfaces topographiques.

La première est formée par les buttes tabulaires, vestige d'une surface néogène. La seconde, qui comprend les cuirasses du niveau inférieur, constitue le moyen glacis ou surface fonctionnelle.

3.1 - La surface néogène

Les restes de cette surface disséquée ont la forme de surfaces tabulaires cuirassées; ces cuirasses sont de type ferrugineux. Le faciès résulte du battement d'une nappe dans un matériau issu, en surface, des produits de démantèlement de niveaux cuirassés plus anciens.

Par suite des phases successives d'ablation et d'apport et des modifications des conditions de drainage, ces cuirasses ont cessé d'être nourries en fer et seuls les niveaux cuirassés les plus épais ont pu subsister. Un sondage (SM4) effectué au pied de la grande cuirasse tabulaire située au Nord du périmètre a montré que sous le niveau cuirassé existait un horizon d'altération à texture sableuse de plus de dix mètres d'épaisseur reposant sur le substratum granito-gneissique peu altéré. Cet horizon actuellement sec correspondait à la zone de circulation de la nappe de versant. La situation actuelle de cette butte cuirassée en sommet d'interfluve et dominant le glacis inférieur d'une vingtaine de mètres correspond à une inversion typique de relief.

C'est à partir de cette surface qu'a été façonné le moyen glacis.

- formation du niveau cuirassé inférieur à partir des produits de démantèlement des cuirasses des niveaux supérieurs :

les cuirasses reposent souvent sur le substratum peu altéré (partie Sud-Ouest du bloc de MOGTEDO) et peuvent dans certains cas s'appuyer sur la cuirasse du moyen glacis (partie Nord de la "Montagne des abeilles").

- altération "intrazonale" (KALOGA) de type montmorillonitique lorsque le cycle birrimien a été mis partiellement à nu.

2.3.2 - Le Moyen glacis ou surface fonctionnelle

L'extrême hétérogénéité en surface des matériaux constituant le moyen glacis indique que son façonnement résulte d'une dynamique intense d'ablation suivie de phase d'apport.

On retrouve sur le périmètre les traces d'une phase de dissection et de phases d'apport telles qu'elles ont été décrites par KALOGA.

• La phase de dissection

Cette phase s'est caractérisée par une troncature différentielle des différentes formations. Cette troncature, faible au niveau des surfaces cuirassées que leur dureté protégeait, a été intense sur les zones à altération montmorillonitique et a pu, à certains endroits, atteindre le substratum granitique ou schisteux.

• Les phases d'apport

A cette phase de dissection qui semble s'être arrêtée brusquement, ont succédé des phases d'apport ayant comblé les entailles et conduit à un nivellement de la surface. Il semble qu'il y ait eu deux phases d'apport :

- une première phase d'apport dont les matériaux étaient grossiers (cailloux de quartz, gravillons ferrugineux)

... / ...

a créé une discontinuité entre ces apports et le substratum du bas glacis (cuirasse, horizon verticale, roche peu ou pas altérée),

- puis une seconde phase d'apport à matériaux plus fins (argileux et/ou sableux) a contribué à donner au bas glacis son modelé actuel. Il semble donc que le bilan sédimentologique du bas glacis ait été longtemps positif surtout au niveau des bas-fonds. Un sondage effectué dans le lit majeur de la BOMBORE a montré la séquence suivante :

- . 0 / 1 m : horizon argileux à pseudogley typique,
- . 1 / 4,5 m : horizon argilo-sableux bariolé,
- . 4,5 / 6,5 m : horizon sec à lits de sable blanc et d'argile grise interstratifiés,
- . 6,5 / 8 m : horizon sableux avec présence de galets de quartz (\varnothing 1 à 5 cm) et de gravillons ferrugineux, sec,
- . 8 m à 10,5 m : horizon sablo-argileux à sables fins, légèrement humide,
- . 10,5 / 14 m : horizon sableux à sables grossiers avec de gros galets de granite (\varnothing 5 à 20 cm), très humide,
- . 14 m : schisteux sériciteux fin altéré.

Il est bien évident que les traces des différents processus anciens ayant conduit au façonnement du moyen glacis vont jouer un rôle important dans l'évolution actuelle du bas glacis et dans les processus de pédogénèse. Ce rôle se situe au niveau de la nature des matériaux hérités (héritage verticale, recouvrement gravillonnaire ou sableux), de leur position dans la topographie actuelle et de leur situation dans le moyen glacis d'une part par rapport à la surface topographique actuelle, d'autre part par rapport à la profondeur du substratum.

2.4 - CONCLUSION

En dehors des jalons des niveaux cuirassés supérieurs et des massifs rocheux qui viennent rompre la monotonie du paysage, le modelé général est plat ou légèrement ondulé.

Les jalons cuirassés, moins fréquents en région schisteuse qu'en région granito-gneissique, confèrent à celle-ci un aspect plus "chahuté". Ces buttes cuirassées qui étaient certainement les parties basses du modelé ancien (cuirasse beaucoup plus épaisse en bas de pente), se situent actuellement en position d'interfluve ou à leur proximité et sont donc la conséquence d'une inversion du relief.

La surface fonctionnelle est un glacis polygénique alimenté par les produits des surfaces anciennes. Le niveau cuirassé inférieur défini plus haut, se situe souvent en continuité avec cette surface fonctionnelle, ce qui suppose une dissection puis un colmatage antérieur à la phase actuelle caractérisée par une morphogénèse intense. Le réseau hydrographique faiblement encaissé dessine dans ce glacis de larges ondulations de faibles dénivellations.

III - LE CLIMAT

1 - GENERALITES SUR LE CLIMAT DE LA HAUTE-VOLTA

Le climat de la Haute-Volta est conditionné par l'action antagoniste de deux flux d'air : le premier, l'harmattan, est un vent sec issu de l'anticyclone saharien; le second, chargé d'humidité, est la mousson provenant de l'anticyclone austral. La zone de contact entre ces deux masses d'air est représentée par le Front Intertropical (F.I.T.) qui, au cours de l'année, se déplace entre la Côte Sud en Janvier et le 25ème degré de latitude Nord en Août.

Durant la saison sèche, l'anticyclone saharien maintient sur la Haute-Volta un flux d'air sec et chaud pendant la journée et frais la nuit par suite du fort rayonnement terrestre.

Pendant la saison des pluies, l'anticyclone saharien est rejeté vers le Nord du continent sous l'action de poussées originaires de l'hémisphère Sud en hiver (ROZBY 1947, PEDELABORDE 1970, MALEY 1972) et cède la place à la bordure septentrionale de l'anticyclone austral qui dirige sur le pays un flux d'air maritime humide (la mousson). C'est dans cette masse d'air que se forment les nuages d'hivernage responsables des pluies et qui, en filtrant le rayonnement solaire, provoquent une diminution des écarts diurnes. La Haute-Volta subit donc les influences périodiques de ces deux centres de haute pression. Elle appartient à la zone climatique soudanienne. Au Nord du pays, le climat est du type soudano-sahélien, alors qu'au Sud il tend vers le climat soudano-guinéen; la limite entre ces deux types climatiques se situe grossièrement entre les 11ème et 12ème degrés de latitude Nord.

AUBREVILLE donne, pour ces deux climats, les caractéristiques moyennes annuelles suivantes :

	<u>Climat soudano-guinéen</u>	<u>Climat sahélo-soudanais</u>
Température	24°5 à 28°2	26° à 31°5
Amplitude thermique	4° à 6°	5° à 10°
Déficit des saturations	7 mm à 12 mm	11,5 à 25 mm
Pluviométrie annuelle	950 à 1750 mm	400 à 1200 mm
Durée de la saison sèche	4 à 5 mois	6 mois
		... / ...

TABLEAU n° 1 - MOYENNES PLUVIOMETRIQUES - PERIODE 1961/1970

(document ASECNA (Haute-Volta))

POSTES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
OUAGADOUGOU aérodrome	0	0,7	5,0	21,0	78,2	116,8	179,2	251,8	158,5	31,6	1,9	1,4	846,1
MANGA	2,3	4,5	9,6	38,9	88,6	122,0	183,8	250,4	173,8	31,9	4,8	1,2	911,8
GARANGO	2,2	9,1	17,8	30,7	83,6	131,9	173,5	274,3	181,0	40,8	1,6	2,5	949,0
TENKODOGO	2,7	6,6	19,3	27,9	93,2	129,0	204,2	285,5	180,6	33,7	2,6	0,9	986,2
PO	1,3	8,7	16,8	50,7	73,8	153,9	204,5	266,1	184,5	40,5	6,9	3,1	1010,8
TIEBELE	1,7	12,1	18,8	66,6	84,0	123,2	191,0	252,7	177,2	41,0	6,6	5,5	980,4

Coordonnées des postes climatologiques :

OUAGADOUGOU (aérodrome)	12° 21' NN	01° 31' W
MANGA	11° 40' N	01° 04' W
GARANGO	11° 48' N	00° 34' W
TENKODOGO	11° 46' N	00° 23' W
PO	11° 10' N	01° 09' W
TIEBELE	11° 06' N	00° 58' W

2 - LES CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES

2.1 - Les précipitations

2.1.1 - Le régime annuel des pluies

Durant l'unique saison des pluies de Mai/juin à Septembre, le volume des précipitations augmente régulièrement pour atteindre un maximum en Août, puis diminue très rapidement (cf. tableau 1 et figure 2).

La pluviométrie moyenne annuelle passe de 850 mm à OUAGADOUGOU, à 1000 mm à PO. Néanmoins, d'une année à l'autre, les fluctuations sont très importantes. et il semble que l'on assiste depuis quelques années à une baisse générale de la pluviométrie annuelle. La figure 3 permet de constater, dans le cas de la station de OUAGADOUGOU, ce déficit pluviométrique.

Si l'on considère l'indice des saisons pluviométrique d'AUBREVILLE (répartition des mois de l'année où la pluviométrie $P > 100$ mm ou mois pluvieux, $30 < P < 100$ ou mois intercalaire et $P < 30$ mm) on voit que les mois écologiquement secs $P < 30$ mm sont au nombre de six dans la région de OUAGADOUGOU et de cinq au Sud dans la région de PO et de TABIE.

La saison des pluies s'étend sur quatre mois, pendant lesquels le nombre de jours de pluie est de 70 en moyenne.

2.1.2 - Variabilité et intensité des précipitations Incidence agronomique et morpho-pédologique

L'examen des données précédentes montre bien une forte variabilité de la pluviométrie d'une année sur l'autre; au sein d'une même année la valeur de la pluviométrie mensuelle subit d'énormes fluctuations, essentiellement durant les mois d'Avril, Mai et Juin, alors que celles-ci sont beaucoup plus faibles à partir du mois de Septembre.

PLUVIOMETRIE

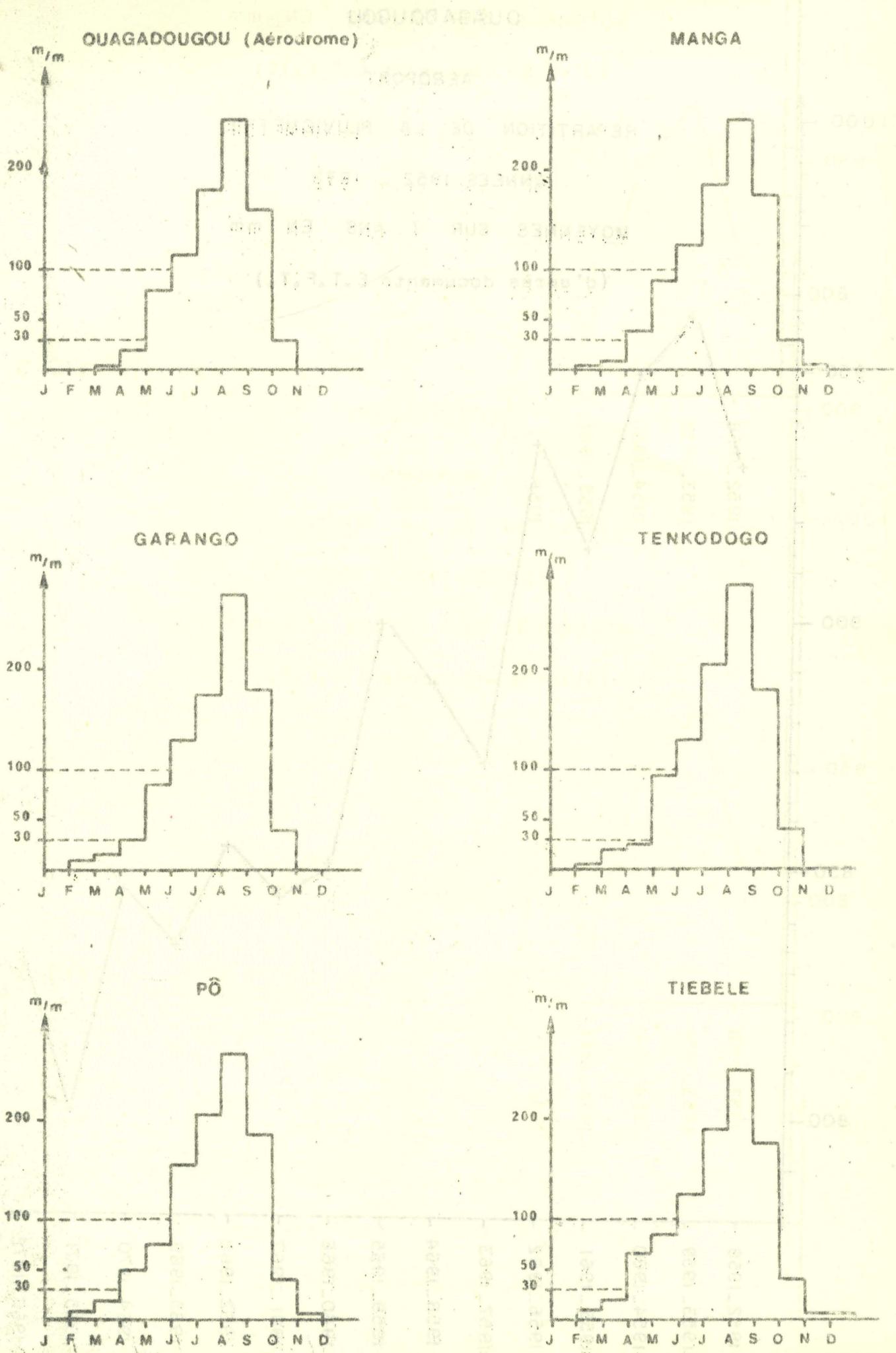


FIG. 3

OUAGADOUGOU

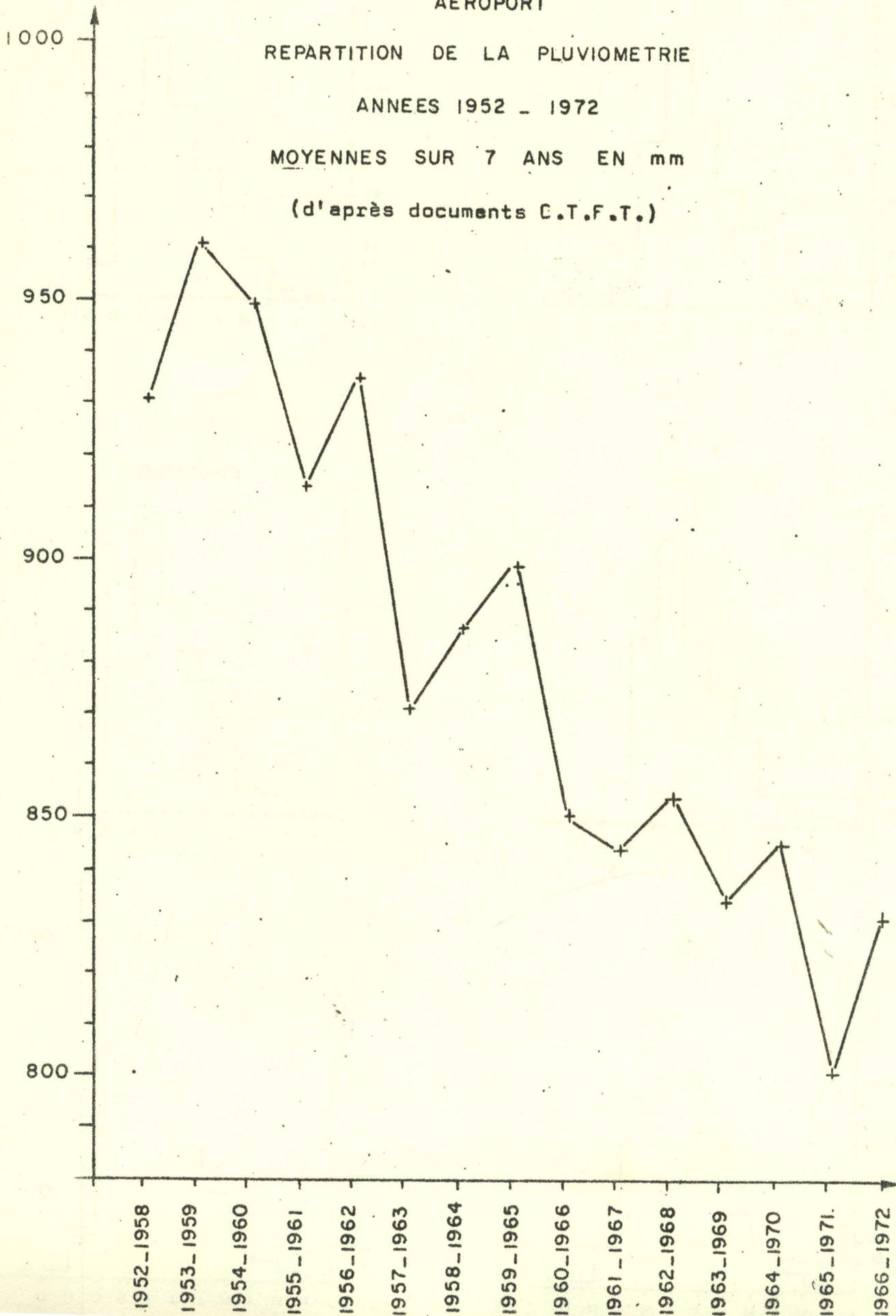
AEROPORT

REPARTITION DE LA PLUVIOMETRIE

ANNEES 1952 - 1972

MOYENNES SUR 7 ANS EN mm

(d'après documents C.T.F.T.)

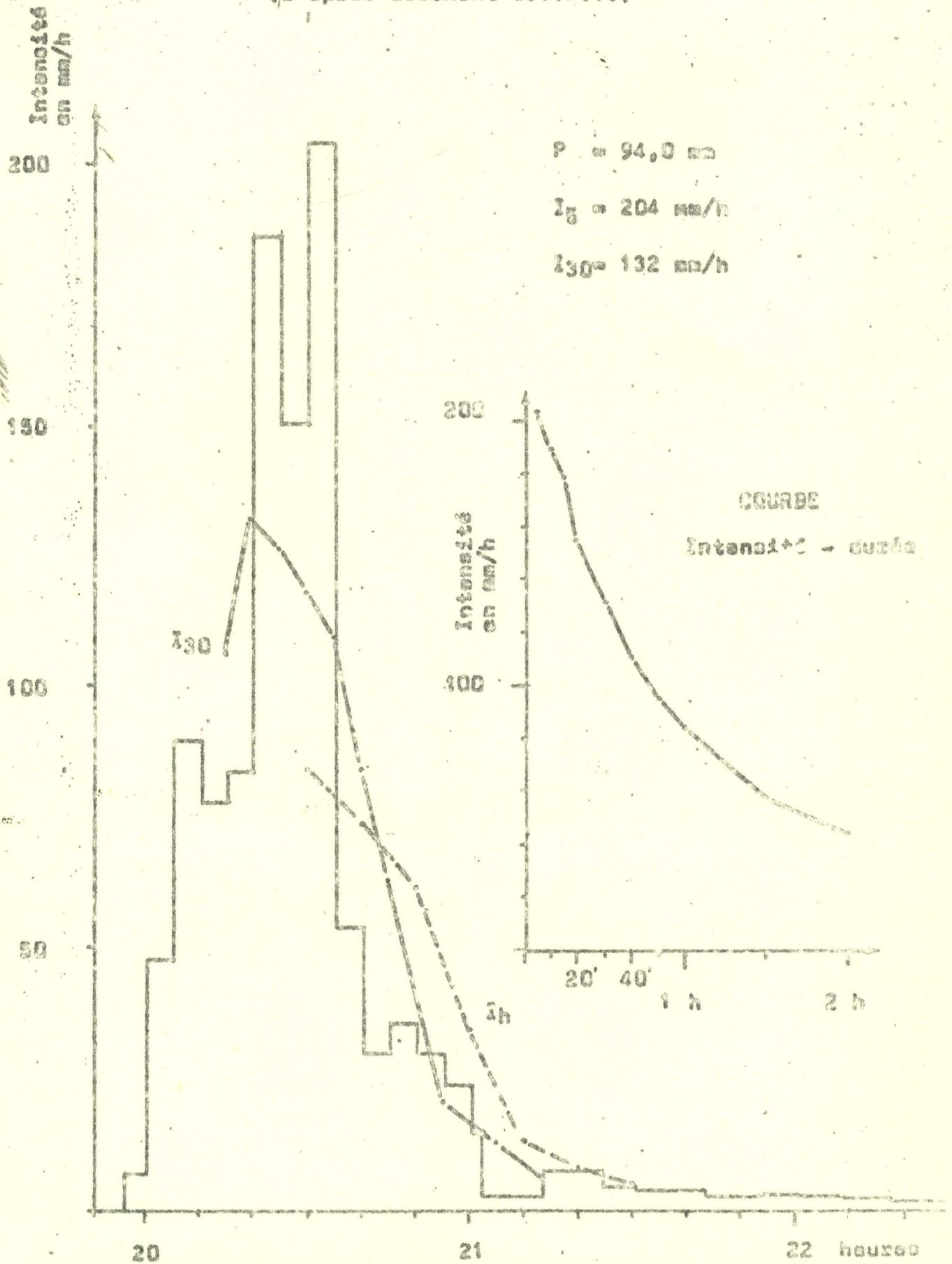


HYETOGRAMME

Précipitation du 9 Juillet 1970

Station de NOGTEDO

(d'après document C.T.F.T.)



Cette particularité est essentiellement due au caractère des pluies qui, en début d'hivernage, ne tombent que localement sous forme d'averses isolées; de plus, ces premières pluies peuvent être suivies d'une période de sécheresse relative où la pluviométrie est faible à très faible; cette interruption peut être tardive (1ère quinzaine de Juillet, par exemple en 1973) ou au contraire être précoce (1ère quinzaine de Juin), ce qui peut être désastreux pour les semis. Les conséquences en sont accentuées par la diminution très rapide du volume des précipitations à partir du mois de Septembre ne permettant pas au végétal de terminer son cycle végétatif si les semis ont été trop tardifs (risque d'avortement ou d'échaudage).

Deux séries de mesures peuvent, à ce stade d'observations, pallier en partie ou totalement à ces inconvénients; la première consiste à déterminer une date de semis correspondant à un certain volume de précipitations (analyse fréquentielle); la seconde consiste à tirer le maximum d'avantages de ce volume de précipitations en augmentant l'infiltration et ainsi les réserves en eau du sol .

Cela nous amène à parler d'un facteur : l'intensité des pluies. En effet, les pluies tombent essentiellement sous forme d'averses généralement de courte durée mais extrêmement violentes, il n'est que de se trouver sur le terrain lors d'une de ces fortes averses pour se rendre compte de l'intensité avec laquelle les gouttes d'eau entrent en contact avec le sol.

L'étude de quelques précipitations faites par le C.T.F.T. a montré que dans le cas d'averses exceptionnelles pour MOGTEDO, l'intensité atteignait des valeurs supérieures à 100 mm par heure, et cela pendant quelques dizaines de minutes (cf. figure 4).

On comprend aisément les conséquences que peuvent avoir certaines pluies lorsque le sol ne présente

pas une couverture végétale suffisante pour diminuer l'énergie cinétique des gouttes d'eau, ce qui se produit souvent en début de saison des pluies sur les sols mis à nu par les feux de brousse ou recouverts par une savane arbustive très dégradée. Il faut voir ici l'origine du déclenchement de tous les types d'érosion dont nous verrons dans un chapitre suivant toute l'importance dans les processus de morphogénèse et de pédogénèse.

2.2 - Les températures (cf. tableau n° 2)

D'une façon générale les températures diurnes sont toujours élevées. La courbe des températures moyennes mensuelles montre la présence de deux maxima, l'un en fin de saison sèche (Avril), l'autre en fin d'hivernage (Octobre, Novembre). Elle indique également que les amplitudes thermiques assez constantes durant la saison des pluies (4 à 5°) sont nettement inférieures à celles de la saison sèche (7,5 à 10°).

Remarque : Durant les mois de Janvier et de Février, dans la région de OUAGADOUGOU, les températures minimales peuvent être basses (inférieures à 10°) et atteindre des valeurs stoppant tout développement végétatif; cela peut avoir une incidence agronomique dans le cas de l'établissement des cultures en irrigué durant cette période.

2.3 - Etat hydrométrique, évaporation et évapotranspiration

L'humidité relative à 12 heures varie de 14 % en Février, à 71% en Août (OUAGADOUGOU), à 8 heures, elle oscille entre 40 et 87 % pour les mêmes périodes.

L'évaporation (PICHE) mensuelle est également cyclique et varie de 362 mm au mois de Mars, à 72 mm au mois d'Août. Le total annuel est de 2 600 mm.

	Nombres de mois de l'année ou														
	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	P < 30 mm	30 < P < 100 mm	P > 100 mm
1966	X	X	X	*	*	+	*	+	+	*	X	X	5	4	3
1967	X	X	X	X	*	*	+	+	+	X	X	X	7	2	3
1968	X	X	X	*	+	+	+	+	+	*	X	X	5	2	5
1969	X	X	X	*	X	+	+	+	+	X	X	X	7	1	4
1970	X	X	X	X	*	+	+	+	+	X	X	X	7	2	3
1971	X	X	X	X	*	+	+	+	+	X	X	X	7	2	3
1972	X	X	X	*	*	+	+	+	*	*	X	X	5	4	3
1973	X	X	X	X	X	+	+	+	+	X	X	X	8	0	4
MOYENNE 1966-1967												6	2	4	

X P < 30 mm : mois écologiquement secs
 * 30 < P < 100 mm : mois intermédiaires
 + P > 100 mm : mois pluvieux

Si l'on détermine l'évapotranspiration potentielle (ETP) par la formule de BLANEY-CRIDDLE, on obtient une valeur annuelle de 2 100 mm, valeur concordant avec celle obtenue par les autres formules. L'importance de cette ETP, la durée de la saison sèche et l'absence de relief marqué, font que la création de petits barrages restreint beaucoup leur utilisation sur un plan agronomique.

3 - INDICES CLIMATIQUES

Le calcul de l'indice de FOURNIER et de drainage de HENIN fournissent des indications complémentaires concernant le rôle des facteurs climatiques, l'intensité des processus d'érosion et de lessivage existant dans cette région.

3.1 - Indice de FOURNIER

Cet indice permet de calculer la dégradation spécifique (DS) à partir de la capacité érosive du climat (C) basée sur la répartition inégale des précipitations concentrées en quelques mois pluvieux.

$$C = \frac{p^2}{P} \quad \text{où } p \text{ est la pluviométrie du mois le plus arrosé,}$$

P est la pluviométrie annuelle,

La dégradation spécifique (DS) s'obtient en appliquant l'équation de régression suivante, valable pour les terres à relief peu accentué ou quasi inexistant :

$$DS \text{ T/ km}^2/\text{an} = 27,12 C - 475,4.$$

Le tableau ci-après donne les valeurs de la dégradation spécifique et de l'ablation annuelle supposée uniformément répartie pour quelques postes climatiques situés dans le périmètre de l'Aménagement des vallées des Volta.

	P	p	C	DS T/km ² /an	ablation annuelle en mm
OUAGADOUGOU	846	252	75,06	1 560,2	0,62
MOGTEDO	766	226	66,8	1 336,3	0,53
MANGA	912	250	68,59	1 384,7	0,55
TENKODOGO	986	285	82,37	1 758,2	0,69
PO	1 010	266	70,05	1 424,3	0,56

Cette ablation globale correspond à une perte de terre annuelle définitive sur des régions étendues. Elle résulte de processus morphodynamiques de décapage assez généralisés, s'effectue à l'échelle d'une génération et constitue donc une contrainte majeure. Cette ablation se traduit aussi par une accumulation dans certains points bas.

3.2 - Indice de drainage calculé de HENIN

L'indice de drainage de HENIN est donné par la formule :

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

où D représente le drainage théorique en hauteur d'eau qui s'infiltré par an dans le sol,

P est la pluviométrie moyenne annuelle en mètres

γ est un coefficient qui dépend de la température moyenne annuelle, T

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

α est un coefficient dont la valeur dépend de la texture du sol :

$\alpha = 0,5$ pour les sols argileux,
 $\alpha = 1$ pour les sols limoneux,
 $\alpha = 2$ pour les sols sableux.

Pour la région de MOGTEDO, l'indice de drainage est de l'ordre de 61 mm pour les sols argileux et 325 mm pour les sols sableux.

Etant donné la répartition très irrégulière des pluies et les valeurs élevées de l'évapotranspiration, le drainage ne peut se produire que durant les mois de Juillet, Août et Septembre. Ces trois mois de lessivage qui correspondent à trois mois d'excès d'eau vont avoir une très grande importance sur la pédogénèse des sols car ils vont créer au sein du profil des phénomènes d'hydromorphie.

4 - CONCLUSION

L'étude des conditions climatiques met clairement en évidence le caractère très contrasté du climat : saison sèche et longue et saison des pluies relativement courte à averses violentes et nombreuses qui vont être à l'origine de processus morphodynamiques (ruissellement diffus ou concentré) et pédogénétiques spécifiques (lessivage, hydromorphie). Ces phénomènes imprimeront d'autant plus leur effet sur le milieu que la végétation et le modelé offriront une moindre résistance à leur agressivité.

IV - LA VEGETATION

La végétation naturelle fortement dégradée par une colonisation humaine ancienne, par les feux et les passages des troupeaux a fait place sur presque tout le périmètre à une savane parc anthropique à *Butyrospernum parkii* (Karité), *Lannea microcarpia* (raisinier) et *acacia* sp. dans la partie Nord des "Vallées des Volta", et à *Isoberlinia* et *Burkea africana* dans la partie Sud (TIEBELE, PO). En bordure des marigots on rencontre quelques beaux spécimens de *Bombax costatum*, *Khaya senegalensis* (caïlcédrat).

Les anciens sites de villages sont très souvent caractérisés par la présence d'*Azadirachta digitata* (Baobab). La strate herbacée est constituée par *Loudetia togoensis* sur sols peu profonds (cuirasse, carapace) *hyparrhenia* sp. et *Pennisetum cenchroides*; *Andropogon gayanus* forme des peuplements denses dans les zones ayant de bonnes réserves hydriques (sols bruns, vertisols); Cette strate herbacée disparaît dans sa presque totalité durant la saison sèche. Les feux tardifs (Février - Mars) réduisent en cendres les pailles non brûlées par les feux précoces, laissant ainsi la surface du sol dénudée au moment des premières averse.

V - CONCLUSION SUR L'ETUDE DES CARACTERISTIQUES DE

L'ENVIRONNEMENT

L'aspect physiographique du milieu nous fournit un cadre soumis actuellement à un certain nombre de processus morphopédogénétiques. Ces différents processus affectent un matériau dont la mise en place et les caractéristiques résultent de dynamiques anciennes. Le caractère contrasté du climat et la présence d'une végétation dégradée offrant peu de protection aux agents climatiques ont été à l'origine de processus de morphogénèses plus ou moins intenses dépendant de la nature du matériau, des modalités de sa mise en place lors de phases anciennes de morphogénèse et de sa position topographique.

* * *

*

B/- LA DYNAMIQUE DU MILIEU NATUREL

LES LIAISONS MORPHOGENESE-PEDOGENESE

I - GENERALITES

L'aspect physiographique du milieu étudié dans le chapitre précédent nous fournit un cadre soumis actuellement à un certain nombre de processus morphopédogénétiques. Ces différents processus affectent un matériau dont la mise en place et les caractéristiques résultent de dynamiques anciennes. Sur l'ensemble des blocs expérimentaux les observations de surface, les profils creusés, les sondages effectués lors de la campagne 1973 pour l'implantation des puits, permettent de retrouver les traces de ces processus qui se sont trouvés, soit fossilisés par des recouvrements épais ou par des processus d'induration, soit mis à jour par la morphodynamique actuelle (entailles vives). L'examen du modelé du réseau hydrographique permet de préciser aussi l'évolution des différentes surfaces.

Après avoir caractérisé les processus actuels de la morphogénèse, nous étudierons les conséquences de ces processus sur la pédogénèse afin d'individualiser les différents milieux de pédogénèse.

II - LES PROCESSUS DE LA PEDOGENESE

Les processus mis en évidence sur l'ensemble des blocs trouvent bien leur origine dans le climat, le modelé et le couvert végétal. Le modelé actuel est relativement plat et à bas-fonds larges et peu encaissés, les interfluves présentent des versants à pentes faibles (rarement supérieures à 2 %) mais longues. Sur ces versants se développe normalement une savane arbustive ou arborée, la strate herbacée est, à l'état naturel, abondante et haute. Au début de la saison des pluies, et toujours à l'état naturel, la couverture graminée freine quelque peu le ruissellement et favorise l'infiltration et une activité biologique permettant la pédogénèse.

Cet équilibre relatif entre les processus de morphogénèse et de pédogénèse n'est que rarement atteint sur les différents blocs car la densité du couvert graminéen n'est pas homogène.

1 - LES CAUSES DE LA DÉGRADATION DE LA VÉGÉTATION

Ces causes sont liées, soit à la nature du sol, soit à des actions anthropiques.

1.1 - La Nature du Sol

La présence en surface ou à très faible profondeur du substratum (granite, schiste, quartz...) d'une cuirasse ou de matériaux remaniés (gravillons ferrugineux, cailloutis quartzeux) constitue un facteur limitant au développement normal de la végétation (faible épaisseur du sol exploitable par les racines).

1.2 - Les actions anthropiques

Il s'agit d'une part de l'action des feux de brousse et d'autre part de la disparition du couvert végétal, soit pour son utilisation à des fins domestiques (bois de chauffage) et pastorales (pâturages non contrôlés, coupe de jeunes arbustes pour l'alimentation des ovins et des caprins) soit pour la mise en culture.

1.3 - Les feux de brousse

Cette pratique généralisée est d'autant plus néfaste qu'elle se produit en deux temps. Les feux précoces effectués durant les mois d'Octobre et Novembre font disparaître tout le couvert graminéen dans les endroits où ce dernier était peu développé (zones cuirassées ou gravillonnaires) et provoquent sur les autres zones où les sols possèdent encore une réserve hydrique, un regain utilisé par les populations pastorales pour l'alimentation du bétail.

Les feux tardifs (Février-Mars) consomment les pailles non brûlées lors des feux précoces et n'épargnent que quelques rares sites.

L'action néfaste des feux de brousse se situe à deux niveaux : d'une part les feux mettent à nu la surface du sol qui reçoit toute l'énergie cinétique des gouttes de pluies, notamment en fin de saison sèche, d'autre part ils suppriment les apports de matière organique que pourrait fournir la décomposition des feuilles et des pailles ; les feux contribuent donc à maintenir dans l'horizon de surface un taux de matière organique faible et ainsi à freiner l'évolution pédologique.

1.4 - L'action directe de l'homme

Lorsqu'on circule sur les blocs expérimentaux on est frappé par la quantité d'arbres et d'arbustes dont le tronc a été coupé à environ 1 m au dessus du sol, et cela en dehors de toute zone d'occupation humaine. Les parties maitresses de l'arbre sont utilisées comme bois de chauffage et transportées, soit par camion, soit par charrette vers les lieux de consommation. Les petites branches sont utilisées pour l'alimentation du bétail ou pour faire des enclos.

Sur le bloc de MOGTEDO, et cela est particulièrement frappant dans la partie Nord à proximité des villages de TOEYOKO, la mise en culture de nouvelles parcelles est précédée de la destruction systématique de toute la végétation; l'effet de la destruction de la végétation se fait surtout sentir après la première année de culture et en fin de saison sèche. En effet, en première année de culture, le sol est rapidement couvert par les cultures vivrières qui bénéficient au maximum des effets de défri-chement. En fin de saison sèche, par suite de la destruction par le feu des résidus de récolte par les paysans, la surface se trouve à nu et nous avons pu observer dans certaines parcelles situées en bordure de talwegs, les manifestations

d'une érosion ravinante, voire même, la formation d'une entaille vive de plusieurs mètres de longueur et de près d'un mètre de profondeur.

Il résulte de toutes ces observations que la cause du déclenchement de tous les processus de morphogénèse actuelle résulte de la dégradation du couvert végétal, sous toutes ses formes, alliée à des conditions climatiques contrastées et favorisée par des versants à pentes faibles mais longues.

2 - NATURE ET INTENSITE DES PROCESSUS

Il est intéressant d'être sur le terrain lors d'une des premières pluies intervenant en fin de saison sèche. La surface presque nue des versants apparaît comme un miroir que vient ternir l'impact des gouttes de pluie. Cette pellicule d'eau s'écoule uniformément le long de la plus grande pente tant qu'elle ne rencontre pas d'obstacle, (débris de paille, motte légèrement exhaussée, cailloux, tronc d'arbres); cet obstacle se comporte alors comme un minuscule barrage qui, d'une part favorise en amont le dépôt de particules par diminution de la vitesse d'écoulement de l'eau (diminution de la compétence) et d'autre part provoque de chaque côté de l'obstacle l'apparition de filets d'eau. En bas de versant et au niveau des talwegs on peut observer une véritable nappe d'eau, pouvant atteindre par endroits une dizaine de centimètres d'épaisseur qui s'engouffre dans le bas-fond. On assiste à de véritables crues au niveau des marigots qui, dans le cas de la BOMBORE par exemple, peuvent provoquer des changements de lit.

Après l'averse, sur les versants, on constate que le front d'humectation se situe entre 1 et 2 cm dans les zones sans couverture graminéenne, alors qu'au niveau des obstacles et dans les talwegs, ce front atteint une dizaine de centimètres. Une observation effectuée le 31 Mars 1973 à MOGTEDO a montré qu'après une pluie estimée à 25 mm certains sols n'avaient été humectés que sur 5 cm de profondeur.

Ce manque d'infiltration est dû à l'impact des gouttes de pluie qui, possédant toute leur énergie cinétique par suite de l'absence de végétation, détruisent les agrégats provoquant ainsi un glaçage du sol; il se forme alors en surface une pellicule riche en éléments fins (argile) surmontant un horizon poreux de 1 à 2 cm.

L'absence d'infiltration augmente d'autant la partie des eaux pluviales qui ruissèlent. Les effets sur le sol se trouvent figés après les pluies et sont facilement observables en saison sèche. Outre le glaçage des sols, on observe :

- par endroits, un décapage de cette pellicule superficielle, la formation de marches d'escalier et un triage des particules (sables grossiers et sables fins)
- une disparition en surface, dans les horizons gravillonnaires, de tous les éléments fins,
- des amorces d'entailles de faible profondeur sur les versants pouvant s'individualiser en bas de versant au niveau des talwegs dans la zone de raccordement, jusqu'au lit du marigot (morphodynamique concentrée),
- des cuvettes de décantation, soit dans le lit actuel des marigots importants, soit au niveau d'anciens lits (BOMBORE, KOULIPELE, lit majeur de la Volta Rouge).

2.1 - La morphodynamique pelliculaire - sa perception

Ce processus, intervenant sur les versants, est provoqué comme nous venons de le voir, par un ruissellement diffus des eaux pluviales sur une surface à couvert végétal faible ou nul. Ce processus, qui constitue un phénomène saisonnier, se produit à chaque pluie et son intensité dépend de l'intensité et de la durée de la pluie, de l'importance des obstacles pouvant freiner le ruissellement diffus et ainsi diminuer la compétence des eaux.

Ces phénomènes qui sont ponctuels au niveau d'une pluie évoluent dans le temps et permettent de différencier sur le terrain des zones facilement repérables sur photographie aérienne où l'effet global de la morphodynamique pelliculaire peut être perçu.

Cela nous a conduit à établir une échelle d'intensité séparée par des seuils.

La morphodynamique pelliculaire
très intense et généralisée

est caractérisée par un important ruissellement diffus affectant des zones sans couverture graminéenne et où la végétation arbustive est constituée essentiellement par des Acacias souffreteux. Ce processus entraîne un décapage et un glaçage généralisé de la surface du sol. La compétence de l'eau est suffisante pour entraîner la majorité des éléments fins. Des amorces de ruissellement concentré apparaissent, créant des "marches d'escalier".

Sur le bloc de MOGTEDO ces zones apparaissent sous forme d'auréoles autour des niveaux cuirassés (dépression périphérique) et sur les photos aériennes elles se signalent par une teinte blanchâtre.

La morphodynamique pelliculaire
intense et généralisée

se traduit par un processus intense et généralisé de ruissellement diffus affectant des zones dont la végétation a été très dégradée par les brûlis et la mise en culture. Le ruissellement provoque un glaçage généralisé de la surface et par endroit un décapage de la mince pellicule de la surface. On observe des amorces de ruissellement concentré surtout au niveau des passages de boeufs, mais la nature gravillonnaire des sols empêche l'individualisation des entailles. Ce processus affecte de très grandes surfaces sur le périmètre et est caractéristique des zones à recouvrement gravillonnaire. Sur photos aériennes, ces plages apparaissent en teinte gris clair uniforme.

. La morphodynamique pelliculaire
intense et non généralisée

Ce processus de ruissellement diffus intense affecte de grandes surfaces sur les versants mais la présence de nombreux obstacles (affleurement, zone à végétation herbacée non brûlée) empêche la généralisation du processus. Sur les zones non protégées le ruissellement provoque le glaçage de la surface, le démantèlement des termitières mortes dont les matériaux s'épanchent parfois sur des distances assez grandes (30 à 50 m), formant une demi-ellipsoïde allongée dans le sens de l'écoulement.

Sur ces zones, on n'observe pas de ruissellement concentré.

. La morphodynamique pelliculaire
peu intense et non généralisée

Ici, la morphodynamique pelliculaire est réduite par suite de la présence d'une couverture graminéenne s'installant rapidement et venant contrecarrer les effets du ruissellement diffus. Celui-ci, peu intense, provoque un glaçage très localisé des sols, et par endroits, on peut observer un départ de matériaux fins se traduisant par un exhaussement des touffes herbacées.

Ce processus affecte les zones d'interfluves non cuirassées ni gravillonnaires et les formations colluvio-alluviales.

2.2 - La morphodynamique concentrée

Ce processus très localisé se déclenche, soit:

- en bas de versant lorsqu'en amont l'intensité du ruissellement diffus a pu provoquer l'individualisation de filets continus qui se rejoignent : la compétence de l'eau est telle qu'il se produit une incision et une évacuation des

des matériaux vers l'exutoire. Ceci est particulièrement visible dans la zone de raccordement versant - bas-fond, et les entailles qu'il provoque sont facilement visibles sur photos aériennes,

- sur des zones à pentes fortes situées sous les corniches cuirassées ou dans les éboulis rocheux. Le ruissellement favorisé par l'absence de végétation, se concentre entre les blocs de cuirasse, de quartz, de granite et de schiste, arrache et transporte des éléments pouvant atteindre quelques centimètres de diamètre.

Au pied des talus, par suite de la diminution de la pente, il y a classement des matériaux; les plus grossiers restent sur place, les plus fins sont repris par les processus de ruissellement diffus.

Ce processus constitue le mécanisme principal de la destruction des buttes cuirassées par sapement des zones situées sous la corniche.

2.3 - La morphodynamique fluviatile

L'importance des processus de ruissellement diffus sur les versants fait qu'au moment des fortes pluies le volume d'eau qui est amené à être évacué par les bas-fonds principaux est considérable. Le lit mineur du marigot dont l'encaissement est variable et dont le tracé est sinueux dans le bas-fond ne présente pas une section suffisante pour évacuer toutes les eaux pluviales. On observe des crues très violentes avec sapement des berges et changement de lit : dans l'ancien lit il se produit alors une sédimentation des matériaux avec individualisation de cuvettes de décantation visibles sur photo aérienne. Ce processus de changement de lit peut se reproduire à un autre endroit au cours des années suivantes, ce qui donne au bas-fond un aspect "chahuté" et en limite donc son aménagement.

2.4 - Cas particulier des bas-fonds à lit individualisé

Ces bas-fonds qui constituent des exutoires de bassins versants de superficie faible présentent un profil transversal en berceau assez plat et un profil longitudinal à pente extrêmement faible (1 ‰), leur localisation assez difficile sur le terrain est rendue aisée à l'aide des photos aériennes car ils apparaissent en teinte gris foncé; cette couleur est due au fait qu'ils sont d'une part affectés par les brûlis tardifs et d'autre part que la densité de la végétation arbustive y est plus importante; l'action des gouttes de pluie est donc plus faible et le processus de ruissellement diffus, avec glaçage de la surface, est peu intense et de courte durée : en effet, dans ces zones à capacité d'absorption assez importante, on assiste dès les premières pluies au démarrage rapide de la végétation herbacée au niveau de petites fentes. Cette végétation joue très rapidement un rôle de peigne empêchant tout décapage et favorisant les dépôts de particules fines en amont des touffes herbacées. Ces zones peuvent être considérées comme des zones stables tant que l'intervention humaine ne vient pas supprimer la végétation naturelle.

3 - NOTICE EXPLICATIVE DE LA LEGENDE "MORPHODYNAMIQUE" DE LA CARTE MORPHOPEDOLOGIQUE

L'étude des processus de morphogénèse actuels nous a permis de mettre en évidence sur l'ensemble des quatre blocs une morphodynamique dont le type et l'intensité permettent de définir le premier terme du bilan morphogénèse - pédogénèse. Cette morphodynamique actuelle provoque sur les sols un glaçage, un décapage et le transit des matériaux qui vont nous permettre de comprendre, en utilisant les traces de la morphodynamique ancienne, les notions de pédogénèse.

... / ...

Milieux pénestables

Les milieux pénestables regroupent l'ensemble des milieux où, tantôt la pédogénèse, tantôt la morphogénèse l'emporte plus ou moins nettement. L'instabilité temporaire de ces milieux est essentiellement causée par les actions anthropiques (brûlis, pâturages non contrôlés, défrichement).

La morphodynamique actuelle est de type pelliculaire et, suivant l'intensité et la généralisation des processus, nous avons fait figurer sur la carte les milieux à morphogénèse pelliculaire:

- peu intense et non généralisée,
- intense et non généralisée,
- intense et généralisée,
- très intense et généralisée.

Milieux instables

Les milieux instables sont caractérisés par la prédominance très nette de la morphogénèse sur la pédogénèse.

La morphodynamique est de type concentré (pente forte, zone de raccordement, bas-fond, versant) ou de type fluviatile (réseau hydrographique instable). Dans un cas comme dans l'autre, l'instabilité du milieu est chronique et toute mesure d'aménagement ne peut être envisagée que dans le but d'une protection des zones avalées, (zones à morphodynamique concentrée) ou par la mise en valeur d'un périmètre irrigué (zone à morphodynamique fluviatile).

TROISIEME PARTIE

LES CONSEQUENCES DE LA MORPHOGENESE SUR LA PEDOGENESE

ETUDE DES MILIEUX DE PEDOGENESE

& CARACTERISATION DES TYPES DE SOLS

III - LES CONSEQUENCES DE LA MORPHOGENESE SUR LA PEDOGENESE

ETUDE DES MILIEUX DE PEDOGENESE ET CARACTERISATION

DES TYPES DE SOLS

1 - GENERALITES

"Une partie importante des sols, nous l'avons vu, a été élaborée dans le passé en plusieurs phases, passant graduellement de l'une à l'autre" (J. KILIAN). La part du passé se situe d'abord dans la troncature générale qui a affecté le moyen glacis (héritage cuirassé et verticale). Les produits de cette phase d'ablation ont ennoyé les bas-fonds existant à l'époque (BOMBORE, Marigot Est-Ouest du bloc de TIEBELE). Ce décapage intense et généralisé a été suivi de phases d'épandage de matériaux détritiques qui ont recouvert le modelé antérieur sous forme d'immenses glacis détritiques et d'ennoyage (recouvrements colluvial et colluvio-alluvial). Actuellement nous avons vu que ces glacis étaient soumis à des processus de morphogénèse superficiels.

L'étude des héritages plus ou moins anciens et surtout de leur situation à l'intérieur du glacis, nous permettra d'une part de définir les grands axes d'évolution de la pédogénèse caractérisant des milieux de pédogénèse et d'autre part, à partir des processus morphogénétiques actuels, d'étudier la remise en question de ces milieux, de préciser leur évolution actuelle et de procéder à un bilan morphopédologique.

2 - LE ROLE DES HERITAGES DANS LA PEDOGENESE ACTUELLE

Nous envisagerons successivement :

- les héritages cuirassés,
- les héritages verticales,
- les recouvrements.

... / ...

2.1 - Les héritages cuirassés

Nous citerons pour mémoire les cuirasses tabulaires. En effet, si elles sont les témoins d'une pédogénèse ancienne (induration), leur situation topographique et leur grande stabilité vis à vis des processus morphopédogénétiques actuels n'ont qu'un rôle tout à fait minime vis-à-vis des milieux morphopédologiques du bas-glacis.

Les cuirasses inférieures sont les seuls héritages indurés du moyen glacis; cette cuirasse du type conglomératique se trouve à l'heure actuelle, soit au niveau de la surface fonctionnelle, soit à faible profondeur, créant une discontinuité très nette, favorisant d'une part un engorgement des horizons supérieurs et d'autre part la création d'un écoulement hypodermique.

2.2 - Les héritages vertiques

Ces témoins d'une pédogénèse ancienne de type montmorillonitique en milieu mal drainé sont constitués par une argile verticale de couleur brunâtre, à structure prismatique très large, à faces de glissement; l'épaisseur de cette argile n'est pas constante, mais elle est relativement faible (50 cm maximum) sauf lorsque cet héritage se trouve au niveau de la surface fonctionnelle et que les conditions du milieu (confinage) permettent à la pédogénèse verticale de se poursuivre.

Ailleurs, ce qui est le cas le plus fréquent, cet héritage est toujours enterré et intervient par la discontinuité brutale et peu profonde qu'il crée au niveau ^{du} recouvrement moins ancien. En début de saison des pluies, les eaux de percolation traversant les formations superficielles provoquent le gonflement des argiles : cet horizon devient imperméable et il se crée au dessus un engorgement et un écoulement hypodermique dont l'importance dépend du type de matériau de recouvrement, de son épaisseur et de sa position topographique actuelle.

Il semble donc qu'à l'heure actuelle l'altération du substratum sous-jacent ne se poursuive plus (action biologique faible, substratum à faible profondeur et milieu supérieur drainant), tant que ces argiles ne se trouvent pas en surface et que la position topographique du milieu de pédogénèse ne permet pas le confinement.

2.3 - Les recouvrements

2.3.1 - Les recouvrements gravillonnaires et graveleux

Lorsque ces recouvrements sont épais et que leur partie supérieure coïncide avec la surface topographique actuelle, leur pédogénèse est directement influencée par les processus de la morphogénèse actuelle. Quand ils sont eux-mêmes surmontés par un autre recouvrement à texture fine, celui-ci crée une discontinuité à l'intérieur du profil et leur évolution dépend alors de l'épaisseur de cette couche superficielle et de sa nature (sableuse ou argileuse) : engorgement des horizons supérieurs, écoulement hypodermique provoquant un lessivage des éléments fins dans la partie supérieure de l'horizon gravillonnaire.

2.3.2 - Les recouvrements fins

présentent une texture argilo-sableuse. Ces recouvrements fins reposent soit sur le substratum peu altéré, soit sur l'horizon vertique, par l'intermédiaire d'une nappe de gravats de quartz ou d'un horizon gravillonnaire. Le milieu de pédogénèse originel de ces sols (pédogénèse brunifiante ou vertique) se transforme progressivement avec le temps et sous l'action des processus de la morphogénèse actuelle. L'étude de ces milieux et de leur évolution fera l'objet du chapitre suivant.

2.3.3 - Les recouvrements colluvo-alluviaux

sont les produits d'ennoyage des grands bas-fonds. Par leur position topographique et la surface relativement plane (pente inférieure à 1 %) des zones où on les rencontre,

ils correspondent au niveau inférieur de la première phase d'apport, où les grands marigots dessinent actuellement leur lit. L'évolution actuelle des sols de cette formation est sous l'étroite dépendance de leur situation topographique par rapport au niveau actuel du lit du marigot dont l'encaissement traduit un bilan sédimentologique négatif.

3 - LES MILIEUX DE PEDOGENESE

L'aspect morphologique actuel d'un sol est le résultat et l'aboutissement d'une série d'actions qui agissent sur le matériau originel dans lequel le sol se développe. Ce matériau originel résulte souvent lui-même d'une mise en place et d'une évolution ancienne. Il est donc important de distinguer dans un sol, ce qui est actuel de ce qui est ancien. Les héritages conditionnent d'ailleurs beaucoup les processus actuels. Ils influent donc sur la pédogénèse actuelle, en tant que support à propriétés particulières. Sur ce support vont agir un certain nombre de processus, mécaniques, biologiques ou physico-chimiques, les uns superficiels ou sub-superficiels, les autres plus profonds. Les agents de ces processus qui contribuent à donner au sol son aspect actuel, constituent la partie "active" du milieu de pédogénèse : action de l'eau (confinage, hydrolyse des minéraux, néo-formation d'argile, ruissellement superficiel et hypodermique, lessivage, lavage, action érosive...), action de la végétation (taux de matière organique, enracinement...), etc...

Les processus sont donc statiques ou dynamiques, profonds ou superficiels; mais ils interfèrent toujours les uns sur les autres et doivent donc être étudiés comme un tout; c'est le milieu de pédogénèse.

La région étudiée est caractérisée par des milieux de pédogénèse divers :

- embryonnaires non caractérisés (lithosols, régosols)
sur les cuirasses et affleurements rocheux,

- peu caractérisés (sols peu évolués), là où les roches sont affleurantes, à recouvrement épais sur colluvions, sur héritage verticale, mais dans tous les cas, là où l'érosion (décapage laminaire) contrarie la pédogénèse,
- ferrugineux sur matériaux détritiques épais, qui, bien que touchés par l'effet du ruissellement décapant leur surface, montrent néanmoins certains caractères de la "ferrugination tropicale" (sols ferrugineux tropicaux, lessivés ou hydromorphes),
- brunifiants sur matériaux détritiques allochtones ou issus de l'altération in situ du substratum, parallèlement à la morphodynamique pelliculaire toujours active à des degrés divers, les caractères de la "brunification" (argilification, humification) s'individualisent (sols bruns eutrophes tropicaux),
- vertiques lorsque la nature du substratum et la position topographique permettent un confinement du milieu plutôt que des mouvements latéraux de l'eau et favorisent une évolution pédologique spécifique des vertisols (faces de glissement, forte structuration..),
- hydromorphes : dans les conditions topographiques basses où l'engorgement temporaire est la règle, les décapages superficiels réduits, mais les entailles - dues à l'instabilité des marigots - fréquentes.

3.1 - Milieux de pédogénèse embryonnaire non caractérisée

L'absence de pédogénèse caractérise les affleurements : cuirasses ferrugineuses, granito-gneiss, schistes, quartz et quartzites. Le ruissellement actif a, depuis longtemps, fait disparaître les formations superficielles qui pouvaient exister antérieurement.

3.1.1 - Les niveaux cuirassés tabulaires

Le ruissellement diffus intense nettoie la

surface cuirassée dure et n'a donc pratiquement pas d'action érosive. Les eaux pluviales s'infiltrent dans les fractures de la cuirasse. Il s'ensuit un ruissellement sous la cuirasse qui érode le niveau sous-jacent qui, bien qu'induré, est plus tendre que la cuirasse. Ce "soutirage" contribue à la désagrégation mécanique de cette cuirasse.

Du fait de la dureté, de la composition et du décapage permanent de la cuirasse, la pédogénèse y est très fortement ralentie.

Par endroits cependant, la présence en surface de gravillons de désagrégation crée des microsites d'accumulation temporaire où peut se produire une pédogénèse embryonnaire peu caractérisée surtout s'il y pousse quelques touffes de graminées, mais l'altération chimique et biologique y est constamment remise en question par l'action des eaux de ruissellement et les feux de brousse.

La surface de la cuirasse est donc occupée par des sols minéraux bruts, de type lithosol. Leur cartographie est très aisée car ils occupent les replats des buttes, celles-ci étant soulignées par une corniche.

3.1.2 - Les niveaux cuirassés inférieurs du moyen glacis

Sur les moyenn glacis, la cuirasse affleure ou est recouverte par une très faible épaisseur (moins de 10 cm) de matériaux détritiques. Les eaux pluviales, incapables de s'infiltrer, ruissellent en entraînant les éléments fins.

Comme sur le niveau cuirassé supérieur, on n'observe aucune pédogénèse sur les affleurements de cuirasse; cette pédogénèse est embryonnaire et peu caractérisée dans les endroits où l'irrégularité de la surface favorise l'accumulation de matériaux. Cette accumulation, de faible épaisseur, est toujours remise en question, car il s'agit en effet d'un transit. Le milieu de pédogénèse n'est donc

pas assez stabilisé pour qu'on observe une quelconque évolution pédogénétique.

Le niveau cuirassé inférieur du moyen glaciaire a donc été cartographié en "lithosols".

Ces cuirasses sont souvent situées en auréoles autour des buttes tabulaires de la surface néogène; d'autre part, elles constituent la partie amont, légèrement surélevée, du moyen-glaciaire. Elles apparaissent en gris très foncé sur les photographies aériennes. Pour toutes ces raisons, ces cuirasses ont été aisément délimitées.

3.1.3 - Les affleurements quartzitiques

Les quartzites forment les reliefs résiduels. La surface est couverte de blocs cahotiques entre lesquels les eaux pluviales cheminent et se concentrent, et ont donc une action mécanique importante.

Les diaclases qui recoupent les buttes quartzitiques sont remplies d'un matériau hétérogène associant des gravillons ferrugineux et des cailloux de quartz, englobés dans une matière argileuse compacte. Les sols y sont à l'état embryonnaire, marqués par une pédogénèse mal définie.

De toute façon le décapage constant pendant la saison des pluies ne permet pas l'individualisation d'un horizon humifère. Il s'agit donc encore de sols minéraux bruts : lithosols sur les affleurements, régosols sur les matériaux des diaclases.

Pour la cartographie, seuls les affleurements d'une certaine importance, décelables sur photographies aériennes (buttes de teinte très claire) ont été représentés; dans certains cas nous avons indiqué les quartzites inclus dans les schistes lorsqu'ils ont été reconnus sur le terrain.

3.1.4 - Les affleurements granito-gneissiques

Les affleurements de granite, sous forme de "dos de baleine" ou de chaos de blocs, sont séparés par des matériaux hétérogènes sableux, caillouteux (quartz) ou gravillonnaires, résidus de désagrégation ou d'altération ancienne.

Les "affleurements" au sens large, qui ont été cartographiés, englobent ces matériaux.

Sur les blocs résiduels directement exposés aux conditions météoriques, qu'ils soient lisses ou légèrement corrodés en surface, les eaux pluviales ruissellent sans altérer le granite. Il s'agit donc de lithosols au sens strict. Entre les diaclases se trouvent piégés des matériaux. Ceux-ci proviennent de l'élargissement des diaclases par la désagrégation lente du granite et des particules arrachées peu à peu à la surface de l'affleurement et drainées par le ruissellement. Ces derniers peuvent également s'accumuler dans les petites cuvettes situées sur l'affleurement même. Dans ces sites privilégiés, s'installent quelques touffes de graminées en saison des pluies. Mais leur action sur leur support n'est pas suffisamment prolongée (déficit hydrique, feux), pour qu'il puisse se développer un véritable sol. Il s'agit donc de régosols.

Autour des affleurements proprement dits, les matériaux de désagrégation ou d'altération ancienne, résiduels, sont plus favorisés du point de vue hydrique, mais ils sont fortement décapés en surface. Il s'agit encore de régosols.

Pour la commodité de la cartographie, nous n'avons pas différencié les régosols (matériaux résiduels) situés au milieu des affleurements proprement dits, des lithosols caractéristiques de ces affleurements et qui sont dominants. Nous avons tout englobé dans une même unité de lithosols.

Les affleurements granitiques, gneissiques importants

sont visibles directement sur les photographies aériennes. Certains, moins étendus, ont pu être localisés, soit directement sur le terrain, soit grâce à la présence de petits bouquets d'arbres poussant à leur pied et s'individualisant bien dans la savane arbustive.

3.1.5 - Les affleurements de schistes et d'amphibolites

Les schistes et amphibolites affleurent sous formes de buttes résiduelles à pentes fortes. Ces affleurements sont donc fortement érodés par le ruissellement concentré, favorisé par ailleurs par la nature relativement tendre des roches et le pendage vertical des schistes. Ceux-ci ont, de ce fait, un aspect "déchiqueté".

Comme pour les roches précédentes, la pédogénèse est inexistante sur les parois verticales ou fortement inclinées des couches; elle est embryonnaire au niveau des diaclases où peut s'accumuler un matériau fin. En effet, les eaux pluviales ruisselant avec force sur ce matériau relativement tendre, entraînent des particules fines. Les affleurements schisteux sont donc des sites de départ de matériaux, qui alimentent l'aval. Du fait de leur consistance tendre, ils ont été rangés dans les régosols.

La cartographie des schistes a été facilitée par la netteté du pendage des couches. Les ravinements visibles sur photographies aériennes ont été représentés en rouge ("morphodynamique concentrée").

3.1.6 - Les éboulis rocheux

Ces éboulis occupent les talus à pentes fortes (20 à 50 %) situés au dessous de la corniche des buttes cuirassées.

Les eaux de ruissellement se concentrent entre les blocs de cuirasse, de granite et de fragments de schiste.

Les ravins entaillent le substratum constitué par la roche altérée.

Le décapage est tel que les sols ne peuvent pas se former. Entre les blocs rocheux le matériau est constitué par des colluvions de transit, très hétérogènes (régosols) .

Un début d'évolution peut se produire dans les petites accumulations retenues à l'amont des blocs.

Les éboulis ont été facilement localisés et délimités car ils sont très apparents sur les photographies aériennes. Le figuré cartographique adopté correspondant au sens du ruissellement concentré rend bien compte de ce type de morphodynamique très active.

3.1.7 - Conclusion

L'absence d'évolution pédogénétique qui caractérise les zones d'affleurement a plusieurs causes :

- dans le cas des cuirasses, il s'agit de formes héritées, figées, débarrassées depuis longtemps de leur couverture meuble et sur lesquelles les eaux de pluie ruissellent sans action morphogénétique (dureté de la cuirasse) ni pédogénétique (absence de percolation, nature du matériau);
- dans le cas des granites, des gneiss, des dacites, des quartzites et des schistes, on peut observer une certaine désagrégation mécanique, mais les matériaux sont aussitôt entraînés par les eaux de ruissellement qui se concentrent entre les blocs. Les matériaux sont en transit permanent, donc en position instable, défavorable aux actions biologiques ou physico-chimiques, nécessitant un temps suffisamment long pour agir.

Le bilan morphogénèse-pédogénèse est toujours favorable à la morphogénèse.

La présence et le mode de répartition des niveaux cuirassés et des affleurements rocheux influenceront beaucoup sur les conditions d'aménagement.

3.2 - Milieux de pédogénèse peu caractérisée

Ici, les sols sont réduits à un horizon de surface peu humifère, passant plus ou moins brutalement au matériau originel (profil A/C). Les sols peu évolués occupent les sommets d'interfluves ou la partie supérieure de leurs versants.

Ces positions topographiques sont favorables à des dépôts de matériaux; les interfluves sont en effet soumises à une morphodynamique concentrée ou pelliculaire très intense et généralisée, dont l'activité et les effets dépendent du type de matériau originel qu'elle affecte.

3.2.1 - Les sols peu évolués sur granite, gneiss, granito-gneiss, migmatites

Le matériau originel des sols recouvrant le substratum granitique, est à granulométrie grossière : il a pour origine, soit des apports allochtones détritiques (morphodynamique ancienne) issus de massifs granitiques situés en amont (mélange de sable grossier, de gravillons ferrugineux et de cailloux de quartz), soit une altération ancienne des granites sous-jacents.

Le ruissellement (diffus ou concentré) intense, est favorisé en début de saison des pluies, par les feux de brousse de la saison sèche ayant éliminé la couverture herbacée.

La surface du sol qui est à nu à la fin de la saison sèche par suite des feux de brousse, est très sensible à l'action érosive du ruissellement (diffus et concentré), spécialement au début de la saison des pluies. L'action des eaux

se manifeste par un décapage superficiel des éléments fins et un lessivage oblique dans la partie supérieure du sol favorisé par un écoulement hypodermique. Celui-ci est lié à la nature compacte du substratum. La totalité de l'eau s'écoulant obliquement, l'altération chimique du substratum n'est pas possible, le sol ne peut donc s'approfondir.

Les différences morphologiques d'un sol à l'autre tiennent à la nature du matériau situé au dessus du substratum : les proportions relatives de sable grossier, de gravillons ferrugineux et de cailloux de quartz non émoussé sont très variables.

Ces sols ont été rangés dans la catégorie des sols peu évolués d'érosion sur granite ou granito-gneiss.

Sur les photographies aériennes, ils apparaissent en gris clair entre les différents affleurements de granito-gneiss. Leur délimitation a donc été aisée.

3.2.2 - Les sols peu évolués sur schiste

Nous trouvons ces sols sur les pentes assez fortes (supérieures à 5 %), des buttes schisteuses des blocs de MOGTEDO et de TIEBELE ou lorsque le substratum schisteux est sub-affleurant (bloc de KAIBO). Un début de pédogénèse affecte un matériau composé de fragments de schistes de tailles variables, englobés dans une matrice sablo-limoneuse.

L'instabilité du milieu se manifeste, sur pentes fortes, par un ruissellement concentré érosif, ravinant le substratum schisteux; ces ravins drainent un ruissellement pelliculaire très intense et généralisé. Les éléments fins entraînés suivent des couloirs plus ou moins parallèles aux couches.

Sur pentes plus faibles on observe uniquement un puissant décapage en nappe généralisé.

Ces zones schisteuses sub-affleurantes sont des sites de départ ou de transit de particules. Les sols sont peu épais, sans horizon humifère bien développé; ils sont caractéristiques d'un milieu instable où le transit superficiel des matériaux est trop rapide pour permettre aux facteurs biologiques et physico-chimiques d'agir.

Sur pentes fortes, ces sols ont été facilement délimités; le pendage des schistes est décelable par photo-interprétation, lorsque la zone d'altération des schistes affleure.

Sur pentes faibles, le substratum schisteux faiblement recouvert apparaît avec une teinte gris-clair.

3.2.3 - Les sols peu évolués d'apport colluvial

Nous rencontrons ces types de sol dans des matériaux d'apport colluvial anciens situés sur le glacis moyen. Ils sont toujours affectés par une érosion en nappe intense et généralisée.

En fonction de la nature du matériau sous-colluvial, nous avons distingué :

- les apports colluviaux reposant sur une cuirasse ou une carapace,
- les apports colluviaux reposant sur l'argile verticale.

• Les sols peu évolués d'apport colluvial reposant sur cuirasse ou carapace

Le matériau originel est gravillonnaire; la matrice possède une texture grossière (sables grossiers); son épaisseur est inférieure à 50 cm. En dessous se trouve une cuirasse ou une carapace pouvant affleurer localement. Ce recouvrement superficiel représente l'héritage des phases d'apport pendant le façonnement du glacis.

L'action d'une morphodynamique intense et généralisée et la présence à faible profondeur d'un niveau imperméable provoquent :

- le glaçage de la surface du sol et son décapage lorsque le matériau de recouvrement superficiel est sableux,
- un écoulement hypodermique au dessus de la cuirasse et le "lavage" des concrétions.

Les variations de ce type de sol proviennent, soit de l'absence de recouvrement supérieur sableux, soit de la nature même du recouvrement détritique grossier, traduisant son mode de mise en place (proportion de cailloux de quartz non ou peu émoussés). Lorsque le matériau est entièrement gravillonnaire, l'action du ruissellement diffus provoque en surface un classement des matériaux suivant leur taille.

L'action de la morphodynamique favorisée par la présence d'un niveau induré à faible profondeur, limite les processus de pédogénèse et empêche l'approfondissement du sol. Le milieu morphopédologique est très instable.

. Les sols peu évolués d'apport colluvial reposant sur argile verticale

Les sols sont localisés autour de certains jalons cuirassés et au pied des massifs schisteux ou granitiques. Le matériau originel est un apport colluvial très hétérogène, de 15 à 100 cm d'épaisseur, reposant sur un héritage argileux vertical, lui-même surmontant le substratum schisteux ou granito-gneissique.

D'un sol à un autre, les éléments grossiers présents dans le matériau détritique de recouvrement, sont en proportion variable (30 à 90 %).

Le sommet du niveau argileux (héritage vertical) constitue une discontinuité imperméable. Il se produit donc un écoulement hypodermique qui lave les éléments grossiers et maintient une certaine hydromorphie temporaire.

L'action du ruissellement diffus, très intense et généralisé, "glace" et décape la surface du sol. Ces conditions défavorables au mouvement vertical de l'eau et à l'action de la matière organique limitent donc très fortement les processus biologiques et physico-chimiques de la pédogénèse; ceux-ci n'affectent en aucun cas l'héritage verticale (malgré sa faible profondeur), qui se trouve ainsi fossilisé.

Sur les photographies aériennes, ces zones apparaissent en auréole gris-clair autour des reliefs cuirassés, schisteux ou granitiques et constituent des "dépressions périphériques".

3.2.4 - Conclusion

Les milieux de pédogénèse peu différenciés, caractérisés par la présence de "sols peu évolués", affectent donc des matériaux peu épais assez divers (détritiques, colluviaux ou altération du substratum) reposant sur un support compact et imperméable (substratum peu altéré, argile verticale), à l'origine d'une discontinuité physique très importante.

Ces particularités confèrent aux eaux de surface deux régimes d'écoulement :

- un régime superficiel : ruissellement diffus intense et généralisé engendrant un décapage (lié à un transit des matériaux) et un "glaçage" du sol,
- un régime hypodermique engorgeant la base du profil et provoquant le "lavage" du matériel.

En raison de cette discontinuité le taux d'infiltration des eaux en dessous du "plancher" très argileux est faible. Les processus de pédogénèse y sont ralentis.

3.3 - Milieus de pédogénèse ferrugineuse

La pédogénèse ferrugineuse affecte des produits détritiques épais reposant soit sur le niveau cuirassé inférieur, soit sur des argiles vertiques (héritages), soit sur le substratum lui-même (schiste, granite).

Par rapport à la pente générale actuelle, la mise en place de ces matériaux s'est faite :

- soit par apports longitudinaux en provenance des niveaux cuirassés anciens et des zones d'altération kaolinitique; il s'agit alors des sols ferrugineux lessivés à concrétions,
- soit par apports transversaux, dans le cas des matériaux fins d'envoyage des grands bas-fonds. C'est le cas des sols ferrugineux hydromorphes.

3.3.1 - Les sols ferrugineux lessivés à concrétions

Ces sols sont en position de versant à pente faible. La pédogénèse se développe dans un matériau détritique de recouvrement, riche en gravillons ferrugineux noyés dans une matrice, sableuse en surface, argilo-sableuse en profondeur.

Cette différenciation texturale est liée à la nature du régime hydrique de ces sols; celui-ci est caractérisé par un lessivage oblique très important. Il y a donc un départ d'éléments argileux et la formation d'un horizon appauvri supérieur à la base duquel (front d'appauvrissement) se produit un écoulement hypodermique. Celui-ci, facilité par un milieu bien drainant (position de versant) est alimenté en grande partie par les eaux d'infiltration des niveaux cuirassés situés en amont.

L'écoulement hypodermique crée un engorgement temporaire dans le sol.

Parallèlement à ces processus de pédogénèse, se manifeste une action morphodynamique de surface, liée à un ruissellement pelliculaire important. Celui-ci est particulièrement actif en début de saison des pluies (sol à nu par suite des feux de brousse). On observe une érosion en nappe éliminant les éléments fins. La faible teneur en matière organique et en argile confère aux sols une mauvaise stabilité structurale très propice à la dégradation de cette structure par les eaux pluviales. Il se produit alors un "glaçage" de la surface. Les feux de brousse et le surpâturage ne font qu'amplifier ces processus de dégradation. La morphodynamique des eaux pluviales contrarie l'évolution des sols. Le milieu est instable.

La discontinuité structurale, siège de l'écoulement hypodermique, peut se situer entre 20 et 50 cm de profondeur. Le matériau détritique peut posséder ou non des cailloux de quartz, enfin, il peut exister, au dessus du matériau d'apport gravillonnaire, un recouvrement sableux peu épais (10 à 20 cm) traduisant une succession d'apports colluviaux.

Ces sols ont été rangés dans la catégorie des sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions sur matériau colluvial. Sur les photographies aériennes, les sols apparaissent sous forme de vastes plages uniformément grises, assez foncées, sur les versants.

3.3.2 - Les sols ferrugineux hydromorphes

Contrairement aux sols précédents, ceux-là sont localisés en bas de versant et occupent essentiellement les grands bas-fonds (comblement quaternaire par apports transversaux). Le matériau originel est constitué par des colluvions anciennes à texture sable-argileuse à argilo-sableuse, riches en produits ferrugineux. Leur épaisseur peut atteindre plusieurs mètres, comme cela a pu être observé lors de sondages effectués pour le creusement de puits; ces alluvions reposent sur un cailloutis (gravillons ferrugineux, quartz).

Par suite de la morphodynamique actuelle intense qui règne au niveau des grands bas-fonds (lits encaissés, changements de lits), ceux-ci se trouvent à l'heure actuelle rongés peu à peu par une érosion régressive. En fonction de la nature de la morphodynamique qui affecte ces zones et qui a une influence sur le milieu de pédogénèse, nous avons distingué :

- les sols ferrugineux hydromorphes sensu stricto,
- les sols ferrugineux hydromorphes dégradés.

• Les sols ferrugineux hydromorphes sensu stricto

Ces sols occupent des zones plates (pentes inférieures à 1 %) généralement allongées dans le sens du bas-fond et soumises à une morphodynamique pelliculaire peu intense et non généralisée, caractérisée essentiellement par un glaçage superficiel. Il s'agit de zones relativement stables, encore peu dégradées; le couvert végétal est assez bien fourni et la compétence du ruissellement est faible.

Ces sols présentent les caractères d'une pédogénèse de type ferrugineux : profil ABC, couleur rougeâtre, structure massive, complexe absorbant moyennement désaturé. Les caractères de l'hydromorphie apparaissent dans le deuxième horizon.

Les propriétés physiques de ces sols sont assez bonnes; les pratiques culturales devront améliorer la structure des horizons de surface tout en diminuant les effets de l'engorgement temporaire.

Le taux de matière organique est correct dans l'horizon de surface, mais devient très faible en profondeur; le rapport C/N (11) traduit une minéralisation très rapide de la matière organique; la teneur en phosphore assimilable est très faible dans tout le profil (carence en phosphore). La

La capacité d'échange est faible et le complexe absorbant est assez bien saturé dans l'horizon de surface.

Moyennant une fumure minérale (azote et phosphore surtout) et des pratiques culturales appropriées, ce type de sol est susceptible de donner de bons résultats.

Ces sols sont à ranger dans les sols ferrugineux tropicaux appauvris hydromorphes sur colluvo-alluvions.

Situés dans les zones planes, le long des grands marigots et de teinte gris foncé sur les photographies aériennes, ces sols ont été facilement délimités. Leur extension est réduite et en constante régression par suite de la dégradation due aux passages des troupeaux et de la mise en culture traditionnelle.

. Les sols ferrugineux hydromorphes dégradés

Le matériau original de ces sols est identique à celui des sols précédents, mais la morphodynamique qu'ils subissent est distincte. Celle-ci est de type pelliculaire, intense et généralisée. Ces surfaces, mises à nu par le passage des animaux, le défrichement et les feux, sont l'objet d'un ruissellement diffus dont les effets (glaçage, décapage) sont accentués par la différence de niveau existant entre le lit mineur (actuel) du marigot et le niveau alluvial ancien. On observe une rupture de pente très nette dont le profil d'équilibre est sans cesse remis en question par suite de l'entaille actuelle des cours d'eau. En certains endroits, il peut y avoir concentration du ruissellement et individualisation de griffes d'érosion.

Les caractères de ces sols dérivent de ceux des ferrugineux appauvris hydromorphes par suite d'une dégradation due à la morphodynamique :

- glaçage et décapage de la surface,
- appauvrissement de l'horizon de surface par lessivage de tous les éléments fins; création d'un écoulement hypodermique au dessus de l'horizon textural sablo-argileux.

Lorsque la compétence de l'eau atteint la capacité d'incision, l'horizon de surface disparaît et l'horizon textural sous-jacent est mis à nu. Les alternances d'humectation et de dessiccation provoquent la formation de concrétions de formes très irrégulières constituées essentiellement de grains de quartz soudés les uns aux autres par un ciment ferrugineux.

Ces types de sols se rencontrent également à la confluence entre les petits marigots et les grands; mais leur épaisseur est alors plus faible (0,50 à 1 mètre) et ils reposent toujours sur un matériau d'apport transversal (bas de glaciais) constitué de gravillons ferrugineux, de morceaux de cuirasse et de blocs de quartz à bords non émoussés.

Du fait de leur dégradation par la morphogénèse, la mise en valeur de ces sols est très limitée.

Sur les photographies aériennes, ces zones se signalent par une teinte gris très clair en bordure des grands bas-fonds.

3.3.3 - Conclusions

Les sols ferrugineux appauvris hydromorphes, en position de pédogénèse relativement stable lorsqu'ils sont à l'abri de l'agressivité morphoclimatique (pente inférieure à 1 %, éloignement des entailles des marigots, couverture végétale) sont néanmoins susceptibles d'une dégradation rapide et irréversible s'ils ne sont pas mis en valeur avec précaution. En effet, une emprise de l'érosion se manifesterait alors de façon identique à ce qu'on observe sur les sols

déjà dégradés : glaçage, décapage de l'horizon superficiel, puis peu à peu, mise à nu de l'horizon texture sous-jacent, et induration, donc, stérilisation de cet horizon.

3.4 - Milieus de pédogénèse brunifiante

Le groupe des sols bruns eutrophes tropicaux a été caractérisé suivant des critères plus ou moins stricts en fonction des auteurs et des régions.

La classification française donne les caractères suivants :

A₁ = humus doux assez abondant et bien lié à la matière minérale,

B = structure cubique à polyédrique moyenne; complexe absorbant à saturation élevée en calcium; couleur brun-rougeâtre par suite de la libération des sesquioxides de fer.

MAIGNIEN (ORSTOM) donne la définition suivante :

"Sols automorphes se développant sous des climats tropicaux humides, et qui se caractérisent par la faible individualisation de leurs horizons, une couleur brun foncé, une saturation en bases élevée, une bonne teneur en matière organique, et une structure de surface excellente; dans tous les cas, ils sont en position de bon drainage interne et externe".

Ces caractéristiques sont trop restrictives en ce qui concerne les sols de la Haute-Volta. KALOGA (ORSTOM), qui a longtemps étudié ces sols dans le Centre-Sud de la Haute-Volta et qui s'est heurté à ces problèmes de classification, a été conduit à retenir pour cette région, les caractéristiques essentielles suivantes :

... / ...

- une couleur relativement foncée (brun foncé) dans l'horizon A, non liée à des taux élevés de matière organique,
- une saturation en bases élevée,
- une bonne capacité d'échange,
- une fraction argileuse où sont bien représentées les argiles du type 2/1 (illites et montmorillonites),
- une matière organique bien évoluée de type "mull".

Les caractères morphologiques pourront donc être très divers, et KALOGA a distingué :

- les sols bruns eutrophes vertiques, définis par la structure et le degré de différenciation du profil,
- les sols bruns eutrophes hydromorphes, lorsqu'il se produit à l'intérieur du profil, des phénomènes de ségrégations ferrugineuses.

Sur les blocs étudiés, les sols bruns eutrophes se développent sur un matériau de recouvrement; celui-ci est soumis à une morphodynamique pelliculaire, plus ou moins intense en fonction de la position dans le modelé actuel et de l'état de dégradation de la végétation (feux, passages d'animaux, cultures plus ou moins anciennes).

Nous avons donc été amenés à considérer le milieu de pédogénèse de ces sols en étroite relation avec le processus de la morphogénèse. En effet, sans la prise en considération de la morphogénèse nous ne pourrions pas comprendre le sens de l'évolution du milieu. D'autre part, elle constitue en elle-même une contrainte très importante dont il faudra tenir compte lors de l'aménagement.

En fonction des caractéristiques morpho-pédologiques du milieu, nous avons distingué :

- les sols bruns eutrophes peu évolués,
- " " " " " " modaux,
- " " " " " " hydromorphes,
- " " " " " " vertiques modaux ou faiblement dégradés,
- " " " " " " vertiques dégradés.

3.4.1 - Les sols bruns eutrophes peu évolués

Une pédogénèse brunifiante peu évoluée affecte un matériau de faible épaisseur provenant de l'altération du substratum schisteux ou granitique sous-jacent. On rencontre ces sols en position d'interfluve et parfois sur pente relativement forte (2 à 5 %), à proximité des zones d'affleurement.

Ces sols sont soumis à une morphodynamique pelliculaire intense et non généralisée affectant la surface du sol pendant le début de la saison des pluies. Mais le ruissellement est rapidement freiné par le développement d'une strate herbacée importante. Cela permet une certaine pérennité aux actions biologiques et physico-chimiques. Il y a un équilibre entre la pédogénèse et la morphogénèse.

Les sols montrent un profil A/C :

0 - 20 cm : brun très foncé; texture sablo-argileuse à argilo-sableuse, pas d'éléments grossiers; structure polyédrique fine à moyenne bien développée; volume des vides assez important entre les agrégats; pas de fentes; nombreuses racines fines et moyennes; forte activité biologique; transition graduelle, irrégulière.

à partir de 20 cm : roche schisteuse ou granito-gneissique en voie d'altération.

Les caractéristiques principales de ces sols sont leur très faible épaisseur (donc limitations culturales) et leur structure polyédrique très nette et bien développée.

Ils ne sont pas délimitables avec certitude sur les photographies aériennes. Leur situation à proximité des zones d'affleurements a été précisée sur le terrain.

3.4.2 - Les sols bruns eutrophes modaux

Ici la pédogénèse affecte des matériaux de recouvrement plus épais (plus de 50 cm) situés sur des versants à pente faible, à bon drainage externe et interne.

La végétation est constituée par une savane arborée assez dense ; la strate herbacée est dense en saison des pluies et imparfaitement brûlée en saison sèche. Elle protège assez bien la surface du sol des effets du ruissellement diffus, qui est peu intense et non généralisé. La morphogénèse ne contrarie pas la pédogénèse. Le milieu est donc stable.

Ces sols sont très bien structurés, la matière organique est bien répartie sur l'ensemble du profil. Les différences observées d'un profil à un autre sont fonction de l'épaisseur du recouvrement, qui est dans tous les cas supérieure à 50 cm.

La mise en valeur de ces sols devra s'efforcer de respecter l'état d'équilibre actuel; en effet, la couverture végétale actuelle protège relativement bien ces sols de l'agression morphoclimatique.

Les sols bruns eutrophes modaux apparaissent en gris clair uniforme sur les photographies aériennes.

3.4.3 - Les sols bruns eutrophes hydromorphes

Nous rencontrons ces sols uniquement dans les zones de raccordement de versants; ils occupent des bas-fonds très peu encaissés. Ils se développent dans un matériau de recou-

vement fin dont l'épaisseur varie entre 0,5 et 1,5 mètre. Ce dépôt repose sur le substratum (granite ou schiste altéré) par l'intermédiaire d'un horizon gravillonneux.

Dans ces bas-fonds peu marqués, la morphodynamique actuelle est peu intense et ne se manifeste qu'en début de saison des pluies, lorsque la végétation herbacée ne s'est pas encore suffisamment développée; on peut alors observer un glaçage de la surface du sol dû à un ruissellement pelticulaire. Mais, très rapidement, la strate herbacée se développe grâce aux bonnes propriétés hydriques du sol. La végétation graminéenne joue alors un rôle de peigne réceptionnant de façon chronique et lente, les matériaux fins transportés par les eaux de ruissellement diffus en provenance des versants latéraux. Il faut bien insister sur le rôle protecteur prépondérant de cette végétation : dans un bas-fond à lit non matérialisé et recouvert d'une couverture graminéenne de 50 cm de haut, nous avons pu voir circuler une lame d'eau de 10 cm d'épaisseur, sans provoquer, ni décapage ni incision (milieu stable).

Dans ces bas-fonds, tant que la vitesse d'écoulement des eaux ne permet pas l'incision, on n'observe aucun lit de marigot. Lorsque celui-ci s'individualise, il apparaît d'abord sous forme d'entailles séparées entre elles par des replats correspondant à des atterrissements, puis sous la forme d'une entaille vive continue jusqu'au marigot principal (BOMBORE, par exemple).

Les caractéristiques analytiques de ce type de sol montrent une teneur en matière organique correcte dans l'horizon de surface, faible en profondeur. Le rapport C/N, voisin de 10, traduit une bonne humification. Les teneurs en phosphore assimilable sont très faibles. Le complexe absorbant est bien saturé, sauf dans l'horizon où se produit l'écoulement hypodermique; la capacité d'échange est moyenne. Le calcium représente à lui seul, en général plus de 70 % de la somme des bases échangeables; le pH, neutre à faiblement acide dans le profil, devient basique dans la zone d'altération.

L'examen de nombreux profils a mis en évidence les différences concernant l'épaisseur du recouvrement fin (0,5 m à 1 m) et la nature de la discontinuité (proportions relatives des cailloutis de quartz et des gravillons ferrugineux). L'intensité de l'écoulement hypodermique dépend de l'épaisseur du recouvrement fin, certains sols à recouvrement épais n'en portent pas la trace.

Cette unité se signale sur les photos aériennes par une teinte gris foncé (végétation plus dense qu'ailleurs, ou trace de feux tardifs). Les nombreux petits bas-fonds sont ainsi facilement identifiables.

3.4.4 - Les sols bruns eutrophes vertiques modaux ou faiblement dégradés

Ces sols occupent d'assez vastes superficies, en position d'interfluves, sur des versants à pentes faibles et à drainage externe réduit. Par suite de la présence d'une végétation naturelle peu dégradée, la morphodynamique actuelle de type pelliculaire est peu intense et non généralisée.

Les sols présentent les caractères suivants :

- un horizon A, brun foncé, à teneur moyenne en matière organique,
- une bonne richesse en bases et une bonne capacité d'échange; le complexe absorbant est bien saturé,
- une proportion importante d'argiles du type 2/1 (montmorillonite et illite).

Ces conditions sont remplies lorsque le milieu favorise un certain confinement.

Quant à la structure, elle est généralement bien développée (polyédrique, prismatique) et ne semble être due qu'aux phénomènes de dessiccation et d'hydratation.

Ces sols présentent de bonnes propriétés physiques: structure bien développée et texture équilibrée. La forte proportion de limon peut cependant faire craindre des risques de battance lors de la mise en culture.

La teneur en matière organique est correcte jusqu'à près de 40 cm de profondeur. Les teneurs en phosphore assimilable sont toujours très faibles. La capacité d'échange est élevée. Le taux de saturation (calcium et magnésium), élevé dans l'horizon de surface, diminue dans l'horizon sous-jacent, puis augmente à nouveau en profondeur. Le pH est légèrement acide dans tout le profil.

Les variations morphologiques autour de ce type de sol sont liées essentiellement à une dégradation de la structure de l'horizon de surface par suite du ruissellement diffus. On observe, en plus du glaçage de la surface, un léger compactage de l'horizon sous-jacent, sur quelques centimètres. En dessous, la structure fragmentaire est toujours bien développée.

Les plages d'érosion en nappe sont réduites; le couvert végétal actuel est assez efficace; ces zones sont donc relativement stables, mais là encore, cet équilibre est bien précaire.

Leur détermination exacte par photo-interprétation est assez difficile; en effet, les processus de ruissellement pelliculaires ne sont pas assez généralisés pour se traduire par une teinte définie.

3.4.5 - Les sols bruns eutrophes vertiques dégradés

Ces sols ne diffèrent des précédents que par une dégradation de l'horizon de surface due à une dynamique de l'eau différente. Nous les trouvons en position de versant, sous une végétation dégradée correspondant souvent à d'anciennes cultures. Ces conditions sont favorables à une morpho-

dynamique intense mais non généralisée. Celle-ci provoque un glaçage de la surface et la destruction de la structure de l'horizon supérieur sur une épaisseur pouvant atteindre 10 centimètres. Il s'ensuit une modification de régime hydrique : appauvrissement en éléments fins de l'horizon de surface par lessivage; formation d'un écoulement hypodermique au dessus de l'horizon inférieur très argileux et structuré. L'horizon appauvri de surface, très compact en saison sèche, devient bouillant en saison humide.

Cette discontinuité texturale et structurale provoque un ralentissement de la pédogénèse originelle de ces sols (brunification). Les sols prennent une morphologie "planique".

L'interférence de la morphogénèse sur la pédogénèse nous amène à considérer ce milieu comme pénestable.

Nous avons rattaché à ce type de sol, tous les sols qui présentent un horizon de surface dégradé reposant sur un horizon à structure polyédrique ou prismatique représentant un matériau de recouvrement, lorsque celui-ci a au moins 40 cm de profondeur.

3.4.6 - Conclusions

Les sols brunifiés qui se sont développés sur les produits détritiques sont à des stades d'évolution ou de dégradation plus ou moins avancés. Les stades d'évolution sont étroitement sous la dépendance des processus de la morphogénèse dont l'action au niveau du profil crée de nouvelles conditions de pédogénèse. L'aménagement de ces milieux devra tendre, par des façons culturales appropriées, à restreindre le ruissellement diffus, de façon à recréer les conditions de la pédogénèse initiale.

3.5 - Milieux de pédogénèse verticale

Les vertisols se trouvent en position d'interfluve et ils sont couverts par une savane arbustive avec une strate herbacée très dense (KAIBO). Ces sols se signalent par la présence d'un microrelief ; celui-ci est le résultat d'une succession d'effondrements pouvant se réunir entre eux et former des micro-cuvettes. On observe également en surface un réseau de fentes larges, bien développé .

Cet aspect superficiel est le résultat d'une dynamique interne due à la présence d'argiles gonflantes (montmorillonite). Celles-ci varient fortement de volume en fonction de l'alternance engorgement - dessiccation.

Ces mouvements externes se traduisent dans le sol par la présence de faces de friction ("slickensides") à la surface des agrégats, une forte structuration (réseau de fentes en saison sèche), et en surface, par un microrelief "gilgai". Le profil est peu différencié en raison de l'homogénéisation due à cette dynamique.

Ce type de pédogénèse nécessite un matériau suffisamment argileux, à drainage interne réduit.

L'agressivité des pluies a peu d'emprise sur ces sols en raison d'une bonne couverture graminéenne, de leur position topographique (interfluve à très faible pente), de leur microrelief et de leur capacité d'absorption en début de saison des pluies (larges fentes).

Ces sols présentent une structure bien développée sur l'ensemble du profil; polyédrique en surface, prismatique en profondeur, avec apparition de caractères liés à la nature gonflante des argiles : faces luisantes, faces de glissement, fentes. L'activité biologique est bonne jusqu'à 80 cm de profondeur, ainsi que l'enracinement. La couleur est sombre. La teneur en matière organique est cependant

moyenne à faible, et le rapport C/N (12) indique une bonne humification de celle-ci.

Les taux de Ca et Mg échangeables sont élevés et augmentent avec la profondeur; il en est de même pour le sodium. La capacité d'échange, toujours très élevée, atteint 30 mé/100 g. Le taux de saturation est élevé (plus de 80 %), il peut atteindre 100 % en profondeur (présence de calcaire actif).

Compte tenu de la structure polyédrique de l'horizon de surface, nous avons rangé ces sols dans la catégorie des vertisols topo-lithomorphes à drainage externe réduit, à structure anguleuse, sous groupe hydromorphe, sur granito-gneiss.

Sur les photographies aériennes ces sols se signalent par une teinte grise plus sombre que celle des zones environnantes.

3.6 - Milieux de pédogénèse hydromorphe

Les sols hydromorphes occupent les grands bas-fonds. Les marigots et les Volta Rouge et Blanche ont un écoulement temporaire et peuvent changer souvent de lits en incisant les alluvions anciennes argilo-sableuses. Les anciens lits non fonctionnels sont occupés par des cuvettes de décantation (BOMBORE, KOULIPELE).

La pédogénèse est caractérisée par un engorgement temporaire ou permanent d'une partie ou de la totalité du sol. Cette hydromorphie est due essentiellement au manque d'infiltration des eaux pluviales. Si certains sondages effectués dans la BOMBORE ont montré qu'il n'existait aucune nappe phréatique permanente en relation avec le marigot (la seule nappe existante se situe dans la zone fracturée du substratum et son niveau statique est situé à plus de 12 mètres

de profondeur), d'autres sondages effectués dans la KOULIPELE (bloc de KAIBO) et dans les marigots situés sur le bloc de TIEBELE ont mis en évidence l'existence d'une nappe relativement proche de la surface à l'étiage (4 à 8 m).

Dans le premier cas le régime d'hydromorphie est caractéristique des sols à pseudo-gley se traduisant au sein du profil par un bariolage (ségrégations ferrugineuses plus ou moins hydratées). Dans le second cas, le remontée de la nappe maintient dans le profil des 20 cm de profondeur, une hydromorphie permanente (taches gris-bleu) : ce régime d'hydromorphie (battement de nappe) caractérise les sols à gley.

La morphogénèse affectant les bas-fonds à écoulement concentré se résume à l'incision des alluvions anciennes par le lit actuel instable du marigot.

IV - CONCLUSIONS SUR LA DYNAMIQUE DU MILIEU NATUREL

Au terme de cette analyse, nous pouvons dresser un bilan de l'action morpho-climatique responsable de l'évolution actuelle des sols, conclure sur le rôle réel et efficace de la morphogénèse dans les processus de pédogénèse.

Le climat actuel est peu propice au développement de processus chimiques actifs susceptibles d'approfondir les sols, d'améliorer leurs propriétés et de les rendre intéressants pour l'agriculture.

Au contraire, ce climat est beaucoup plus favorable à l'action morphogénétique, tendant à la dégradation de sols pré-existants, produits de pédogénèse ou de mises en place anciennes.

C'est pourquoi nous avons insisté sur cette notion d' "héritages" des périodes passées plus ou moins anciennes, et qui peuvent être : des sols autochtones n'évoluant plus comme auparavant (argiles vertiques, altérites), des maté-

... / ...

riaux transportés (altérites ou produits de pédogénèse) ou des formes figées telles que les buttes tabulaires cuirassées. Les buttes cuirassées et les affleurements de roches résiduels constituent l' "armature" du modelé entre lesquels s'étendent d'immenses glacis polygéniques faiblement entaillés par un réseau hydrographique peu encaissé et assez diffus, à interfluves à pentes très faibles longues, et à larges convexités sommitales.

Ces formes et matériaux relictés témoignent de conditions morpho-climatiques différentes de celles existant actuellement. En même temps que le climat et la végétation, le régime hydrique - principal agent de la pédogénèse comme de la morphogénèse - a changé par suite de modifications plus ou moins rapides, pour une raison ou pour une autre, du niveau de base du drainage général.

Il s'en est suivi un déséquilibre qui s'est manifesté par une érosion intense ayant détruit en grande partie les surfaces et les sols et redistribué leurs éléments au sein des glacis polygéniques situés en position inférieure correspondant à une nouvelle surface d'équilibre. Les matériaux qui n'ont pas été déplacés ont cependant vu leur condition pédogénétique changer radicalement ; la pédogénèse et les altérations en cours se sont "figées" ou ont évolué par cuirassement irréversible.

L'intensité des processus d'érosion a peu à peu diminué en même temps que les matériaux évoluaient (cuirassement, compactage, etc...), les rendant de moins en moins mobilisables; cette intensité a également diminué à mesure que l'aplanissement se poursuivait limitant l'énergie des eaux de ruissellement.

La morphogénèse que l'on observe actuellement n'a pas de commune mesure avec la dynamique ayant procédé au façonnement des glacis polygéniques. Ceux-ci ne subissent que de légères retouches de type aréolaire et une dissection

lente (bas-fonds peu marqués). L'érosion ravinante par ruissellement concentré affecte surtout les zones à pentes relativement fortes : affleurements, talus des buttes cuirassées; elle affecte aussi certains raccordements entre des marigots et leurs versants.

Les matériaux détritiques ou autochtones ayant donc subi des processus morpho-pédologiques antérieurs, évoluent actuellement en fonction de leur nature propre et des processus morphodynamiques dont l'intensité est modulée par le couvert végétal, les conditions de drainage (interne et externe) et l'action anthropique.

Les caractéristiques générales dominantes de ce milieu voltaïque, qui conditionnent la tendance évolutive des sols sont les suivantes :

- le régime des pluies est caractérisé par une longue saison sèche et une saison humide à averses intenses, orageuses;
- une couverture végétale de type savane arborée ou arbustive à strate graminéenne protégeant mal le sol de l'agressivité climatique, spécialement en début d'hivernage à l'époque où les herbes sont brûlées et les arbres défeuillés. Cette situation est évidemment aggravée par de mauvaises pratiques culturales et le surpâturage;
- le matériau originel, le plus souvent détritique, ayant subi des transports ou des pédogénèses multiples et variées, est, la plupart du temps, riche en sable et en argile de type kaolinique (argile sableuse, limon sableux). Ce matériau est donc peu porté à s' "ouvrir" et à se structurer (structure massive); il est sensible au compactage et à la battance, d'autant plus que la végétation libère peu de matière organique et que celle-ci s'humifie rapidement. Tout favorise donc l'imperméabilisation du sol;
- enfin, la nature du modelé général caractérisé par des

pentés faibles mais très longues et régulières. Un tel modelé est favorable au "balayage" latéral des eaux de ruissellement et à son action pelliculaire sur le sol. Le seuil de concentration et de ravinement n'est généralement pas franchi, sauf en certaines positions géomorphologiques bien localisées.

Dans de telles conditions de milieu, quelles sont les modalités d'action de l'eau pluviale sur l'évolution des matériaux ? L'étude précédente nous a montré que cette action se situait, d'une part en surface, d'autre part dans la partie supérieure du sol, ces deux modalités n'étant évidemment pas indépendantes :

- les premières averses d'hivernage ruissellent intensément à la surface du sol. En effet, les eaux tombent sur un sol légèrement durci (croûte), "lissé" depuis la fin de la précédente saison des pluies. Cette croûte de fin de saison sèche est favorable au ruissellement en nappe pelliculaire non entravé par la végétation graminéenne qui est brûlée depuis longtemps. Ce ruissellement de début d'hivernage semble peu érosif, sauf cas de travail du sol, et on observe alors un effet de "splash" libérant des particules très facilement entraînables,
- puis, au fur et à mesure que l'on avance dans la saison des pluies, les arbres et les graminées couvrent un peu mieux le sol, réduisant l'énergie cinétique des gouttes d'eau, donc le ruissellement, au profit de l'infiltration; mais celle-ci est rapidement stoppée à faible profondeur du fait de la nature compacte et du manque de perméabilité (colmatage) du matériau. Cette imperméabilité peut être pré-existante (argile verticale recouverte par un matériau détritique plus grossier, altérite colmatée...) ou induite par colmatage progressif de pores. Il tend à se créer une discontinuité dans le sol, qui gêne puis empêche les mouvements verticaux de l'eau. Il se produit alors un écou-

lement hypodermique important au dessus de la discontinuité qui est de plus en plus individualisée au fur et à mesure de la dégradation du sol. On aboutit, à l'extrême, à une morphologie planique, constituée par un plancher imperméable peu profond, très compact, surmonté d'un horizon sableux entièrement lavé.

La caractéristique essentielle de la pédogénèse de ces régions est donc l'action de lessivage oblique dans la partie supérieure du sol, aboutissant à l'élimination des particules fines; l'infiltration de l'eau se faisant mal ou ne se faisant pas en profondeur, on observe peu d'altération des matériaux. Les processus de pédogénèse autres que le lessivage, tels que l'hydromorphie ou la vertisolisation n'existent que lorsque le milieu permet un certain confinement dans un certain temps d'action de l'eau.

En dessous de la zone d'écoulement hypodermique, le matériau évolue peu; il est figé, et possède les caractères relictés d'une pédogénèse ou d'une altération antérieure (argile vertique, altérite granitique). Ses propriétés physiques sont mauvaises et cela limite donc la profondeur utilisable par les racines.

Une fois le sol saturé par la nappe perchée temporaire, le ruissellement peut alors être très efficace, particulièrement si la végétation herbacée n'est pas encore suffisamment dense. On observe alors une érosion en nappe matérialisée par des atterrissements, des touffes déchaussées, l'étalement des produits des termitières; sur photographies aériennes le ruissellement pelliculaire est repérable par des plages plus claires.

La morphologie pelliculaire et l'écoulement hypodermique, se manifestant à des degrés divers, sont donc les principaux facteurs d'évolution, ou plutôt de dégradation des sols. Ces processus sont la cause de l'instabilité du milieu. C'est à dire qu'ils empêchent l'approfondissement

des sols en limitant les processus biologiques et physico-chimiques de la pédogénèse. Le lessivage oblique et le décapage superficiel dégradent les sols en les appauvrissant en bases et en argiles, et en détruisant leur structure.

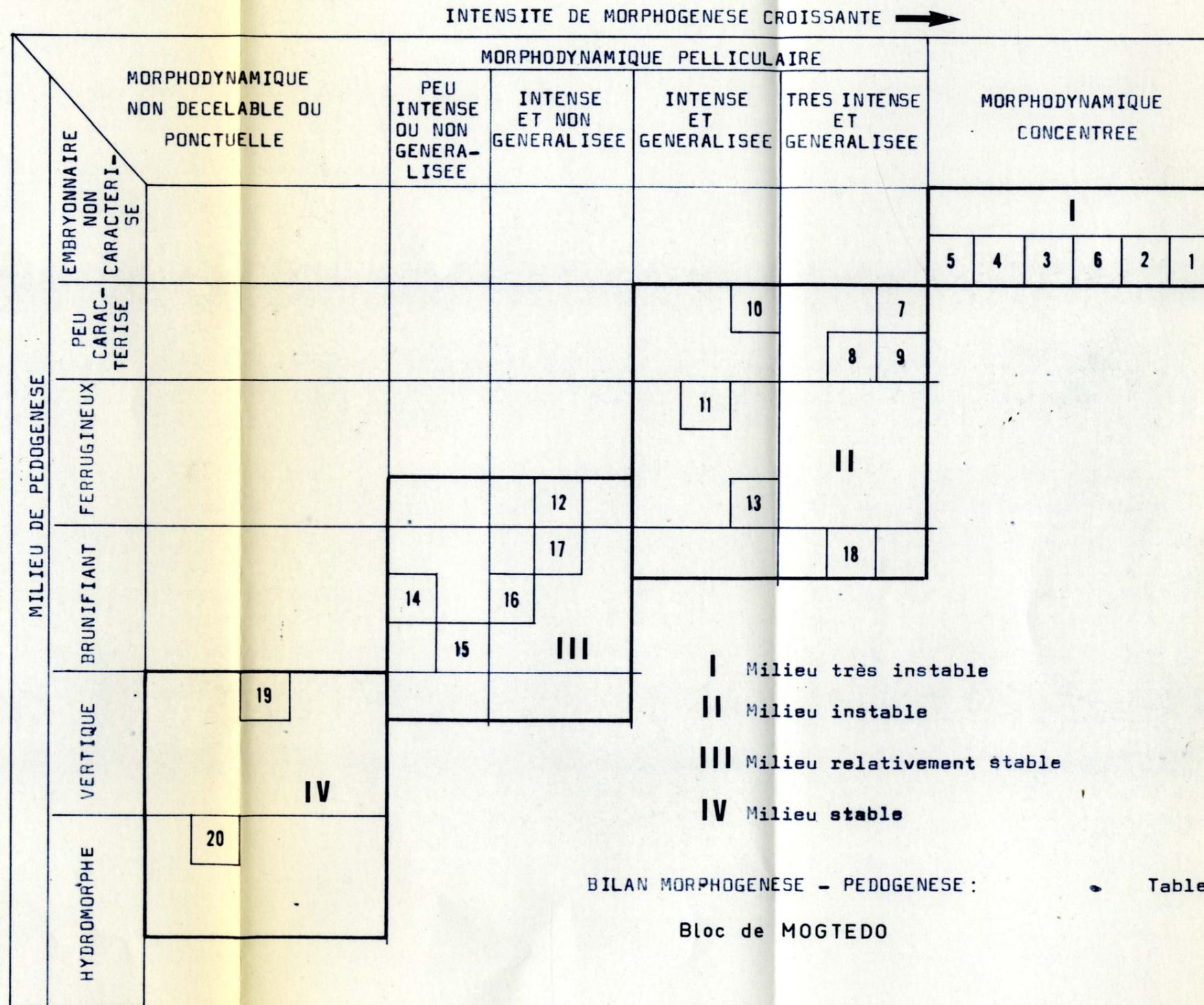
Nous avons considéré qu'un milieu était stable lorsque les processus actifs de pédogénèse (brunification, hydromorphie, vertisolisation ...) prédominaient sur les processus de dégradation et de décapage.

Quant à l'action de la morphodynamique concentrée dont nous avons parlé, elle est localement active sur les pentes fortes; on assiste alors, non plus à une simple dégradation des sols (dont les manifestations peuvent parfois être peu visibles), mais à leur destruction pure et simple. Le tableau n° 3 donne, dans le cas du bloc de MOGTEDO, une représentation schématique du bilan morphogénèse - pédogénèse.

La particularité du milieu étudié nous a conduits à adopter une représentation cartographique adaptée, où nous avons fait entrer la nature et l'intensité des processus morphodynamiques en tant qu'éléments interprétatifs indispensables pour la compréhension de la nature et de l'évolution des sols, et aussi très importants en tant que contrainte propre pour la mise en valeur.

L'étude des contraintes qui fait l'objet du chapitre suivant tiendra compte de tous ces aspects. Nous avons suffisamment insisté sur leur importance et leurs effets pour comprendre que tous les efforts devront porter, lors de l'aménagement, sur l'amélioration de la dynamique de l'eau, la réduction du ruissellement au profit de l'infiltration, de la reconstitution du stock organique. Les moyens de parvenir à ces résultats sont également exposés dans ce qui suit.

UNITES PEDOLOGIQUES	LITHOLOGIE OU MATERIAU ORIGINEL	SYM
LITHOSOLS	Cuirasse supérieure tabulaire	1
	Cuirasse inférieure	2
	Quartz	3
	Granites et granito-gneiss	4
REGOSOLS	Schistes et amphibolites	5
SOLS MINERAUX BRUTS D'APPORT COLLUVIAL	Granites et schistes	6
SOLS PEU EVOLUES LITHIQUES	Granites et granito-gneiss	7
SOLS PEU EVOLUES REGOSOLIQUES	Schistes	8
SOLS PEU EVOLUES D'APPORT COLLUVIAL (Morphologie planique)	Cuirasse ou carapace	10
	Argile vertique	9
SOLS FERRUGINEUX LESSIVES A CONCRETIONS (Morphologie planique)	Matériau colluvial	11
SOLS FERRUGINEUX HYDROMORPHES	Alluvions	12
SOLS FERRUGINEUX HYDROMORPHES DEGRADES	Colluvions Alluvions	13
SOLS BRUNS EUTROPHES PEU EVOLUES	Granites et schistes	18
SOLS BRUNS EUTROPHES MODAUX	Granites et schistes	14
SOLS BRUNS EUTROPHES HYDROMORPHES	Granites et schistes	15
SOLS BRUNS VERTIQUES MODAUX OU FAIBLEMENT DEGRADES	Granites et schistes	16
SOLS BRUNS VERTIQUES DEGRADES (Morphologie planique)	Granites et schistes	17
VERTISOLS TOPOLITHOMORPHES HYDROMORPHES	Granites et schistes	19
SOLS HYDROMORPHES MINERAUX A PSEUDOGLEY	Alluvions	20



QUATRIEME PARTIE

LES CONTRAINTES DU MILIEU NATUREL

ET LES

PROPOSITIONS POUR SON AMENAGEMENT

IV - LES CONTRAINTES DU MILIEU NATUREL ET LES PROPOSITIONS
POUR SON AMENAGEMENT

1 - GENERALITES

La formulation de propositions d'aménagement doit tenir compte des contraintes liées au milieu naturel.

La prise en considération de ces contraintes, en même temps que des objectifs de la Société d'Aménagement, correspond bien à la conception de l' "aménagement intégré" tel que le définit J. TRICART (1973) :

" L'aménagement intégré consiste en une connaissance suffisamment poussée et précise du système naturel, pour que l'on puisse agir dans des conditions financièrement acceptables sur les ressources sans les dégrader et sur les contraintes pour s'en accommoder".

Nous définirons dans un premier temps les différents groupes et types de contraintes en les associant à la potentialité des sols et au type de milieu. Ensuite, nous formulerons, en fonction de tous ces critères liés au milieu naturel et des objectifs technico-économiques du projet, les propositions d'aménagement.

2 - CONTRAINTES ET POTENTIALITES DES SOLS

Nous avons représenté trois groupes de contraintes :

- les contraintes édaphiques, qui font intervenir les aspects néfastes inhérents au sol,
- les contraintes hydrologiques, qui caractérisent l'aspect négatif du régime hydrique des eaux en surface et dans les sols,

- les contraintes morphodynamiques, dues au microrelief et à la morphodynamique actuelle.

2.1 - Les contraintes édaphiques

2.1.1 - Épaisseur du sol exploitable par les racines

Cette contrainte est liée à la présence d'un obstacle qui interrompt brutalement le développement normal des racines en profondeur, substratum, cuirasse, horizon gravillonnaire ou graveleux.

Nous avons distingué : épaisseur exploitable de 0 à 15 cm, et épaisseur exploitable entre 15 et 50 cm.

- Épaisseur de sol inférieure à 15 cm :

Ce sont les lithosols et les régosols (pédogénèse embryonnaire non caractérisée). La potentialité de ces sols est extrêmement réduite, voire nulle.

- Épaisseur de sol comprise entre 15 et 50 cm :

Ce sont les sols peu évolués, les sols bruns peu évolués, les sols ferrugineux gravillonnaires.

2.1.2 - La texture du sol

Sur le bloc de KAIBO, nous avons considéré sur certains sols la présence d'une texture grossière comme une contrainte. Il s'agit de recouvrements sableux actuels issus d'arènes granitiques. La faible épaisseur de ces sols (inférieure à 50 cm en général) et leur forte perméabilité maintiennent au sein du profil un régime hydrique extrêmement défavorable (engorgement temporaire durant la saison des pluies et assèchement très rapide dès le début de la saison sèche).

2.1.3 - Affleurement rocheux

Les affleurements épais sont gênants pour l'aménagement (délimitation des parcelles, pratiques culturales). Ils correspondaient à des chicots rocheux non repérables par photo-interprétation.

2.1.4 - La porosité de surface et dans le profil

Dans le premier cas il s'agit de la présence en surface de l'horizon graveleux (cailloux de quartz) et dans le second cas, de la présence de blocs rocheux provenant de l'altération en boules du substratum, ce dernier cas est très fréquent dans les sols issus de l'altération des amphibolites (BANE, TIEBELE).

2.2 - Les contraintes hydrologiques

2.2.1 - L'écoulement hypodermique

Celui-ci est lié à une discontinuité située à moins de 50 cm de profondeur et dû :

- soit à la présence du substratum, d'une cuirasse ou d'un horizon gravillonnaire (ou graveleux); elle se superpose alors à la contrainte de faible épaisseur du sol lorsque le matériau de surface est grossier.

Les types de sols affectés par cette contrainte sont :

- . les lithosols,
- . les sols peu évolués d'apport colluvial,
- . les sols ferrugineux lessivés à concrétions.

Tous ces sols possèdent en effet, en raison de leur faible profondeur ou de la nature de leur matériau, une très faible potentialité (mauvais régime hydrique);

- soit à la dégradation de l'horizon de surface par la morphodynamique actuelle, d'où l'apparition à faible profondeur d'une discontinuité structurale brutale.

Nous observons cette dégradation dans les sols ferrugineux hydromorphes dégradés, les sols bruns vertiques dégradés. Cette contrainte qui affecte uniquement l'horizon superficiel des sols n'existe pas dans les horizons inférieurs qui sont de meilleures caractéristiques physiques (sols ferrugineux hydromorphes) ou physico-chimiques (sols bruns eutrophes dégradés).

2.2.2 - Régime hydrologique d'inondation durant les fortes averses

Cette contrainte affecte toutes les zones des bas-fonds, petits et moyens. Le régime d'inondation se manifeste par une nappe s'écoulant plus ou moins lentement et ne déclenchant pas de processus érosifs par suite du développement très rapide (après les brûlis) d'une strate herbacée très dense. Il est important de signaler ici que ces bas-fonds constituent des exutoires naturels et qu'ils ne sont en équilibre morphopédologique que grâce à la végétation. Des observations montrent que par suite de la destruction de la végétation pour la mise en culture, le ruissellement qui s'ensuit provoque une incision des sols sur parfois plus d'un mètre de profondeur et plusieurs mètres de longueur dans le sens de l'écoulement.

Ce régime à inondation fugace affecte les sols bruns eutrophes hydromorphes; leur mise en valeur est donc fortement limitée.

2.2.3 - Régime hydrologique d'inondation durant la saison des pluies

Cette contrainte concerne les grands bas-fonds qui réceptionnent les eaux pluviales provenant des petits bas-fonds, ou du ruissellement diffus des bas de versants.

Ce régime d'inondation est dû localement au débordement du marigot dont la section ne peut absorber tout le

flux hydrique lors des fortes averses, et surtout à la nature des sols qui - par suite de leur texture fine et de la topographie relativement plate du milieu - possèdent un drainage externe et interne très réduit.

2.2.4 - Cuvettes de décantation

Ces cuvettes correspondent aux anciens lits du marigot. Elles sont remplies d'eau durant la saison humide; par suite du très faible drainage interne des sols constituant leur fond, la présence de l'eau peut se prolonger jusqu'au mois de mai. Le fond des cuvettes présente en fin de saison sèche un horizon craquelé à structure feuilletée correspondant aux différents niveaux de sédimentation de particules de tailles identiques (la dernière pellicule est constituée de particules extrêmement fines).

Les cuvettes ont une forme plus ou moins allongée (20 à 30 m de long sur 5 à 10 m de large) et une profondeur de 50 cm en moyenne, mais pouvant atteindre à certains endroits, plus d'un mètre (bas-fond de la KOULIPELE).

2.3 - Les contraintes morphodynamiques

2.3.1 - Microrelief gilgaï et micro-cuvettes

Cette micro-topographie est caractéristique des vertisols. Les micro-cuvettes se forment par coalescence de plusieurs effondrements dus aux mouvements internes des argiles gonflantes; elles sont remplies d'eau en saison des pluies. Un nivellement des vertisols empêcherait cette rétention d'eau et son infiltration lente, rôle joué par les micro-cuvettes; cette pratique favoriserait au contraire le ruissellement diffus (mauvais drainage interne et externe).

2.3.2 - Le ruissellement diffus

Nous avons vu précédemment les modalités de déclenchement de ce processus et les effets qu'il pouvait avoir sur la morphogénèse. Nous n'avons distingué, au niveau de la contrainte, que la généralisation ou la non généralisation de ce processus, d'une part pour ne pas surcharger la carte, d'autre part parce que l'intensité du ruissellement diffus était souvent liée à la présence d'autres types de contraintes (épaisseur du sol).

Le ruissellement diffus non généralisé affecte :

- les sols ferrugineux hydromorphes,
- les sols bruns eutrophes peu évolués,
- les sols bruns eutrophes modaux,
- les sols bruns vertiques modaux,
- les vertisols.

Il a une faible incidence sur la potentialité des sols.

Le ruissellement diffus généralisé

entraîne une dégradation de l'horizon de surface, il en résulte une baisse importante de la potentialité des sols du fait de l'appauvrissement de l'horizon de surface, de la création d'une discontinuité limitant la percolation des solutions à l'intérieur du profil et la présence d'un écoulement hypodermique. Sont sujets au ruissellement diffus généralisé :

- les sols peu évolués,
- les sols ferrugineux lessivés à concrétions,
- les sols ferrugineux hydromorphes dégradés,
- les sols bruns vertiques dégradés,
- les sols vertiques dégradés.

2.3.3 - Le ruissellement concentré

se manifeste sur pente forte où les sols ont une faible épaisseur (sols minéraux bruts et sols peu évolués d'érosion régosoliques) et sur les talus de rupture de pente en bordure des grands marigots (sols ferrugineux hydromorphes dégradés). La très faible potentialité des sols minéraux bruts (pentes fortes, épaisseur réduite) ne peut pas être améliorée. Quant aux sols ferrugineux hydromorphes, des aménagements sont possibles pour lutter contre le ruissellement concentré, et cela sera d'autant plus intéressant que ces sols sont profonds et qu'ils présentent une texture équilibrée.

2.3.4 - Les incisions vives

De telles entailles sont très localisées; mais lorsqu'elles sont nombreuses, elles provoquent une contraction des sols : tous les efforts doivent se porter sur leur stabilisation.

2.4 - Conclusions

L'aménagement agricole du milieu devra s'efforcer, à l'aide des techniques adéquates, de modifier les contraintes dans un sens favorable et de ne pas dégrader les zones ayant de bonnes potentialités.

L'effort devra porter essentiellement sur la diminution du ruissellement pelliculaire ou concentré au profit de l'infiltration.

L'aménagement devra être conçu de façon globale sans dissocier l'aval de l'amont.

Représentation cartographique :

A partir des données de la carte morphopédologique et des observations de terrain faites en saison sèche et en saison des pluies, nous avons établi un document cartogra-

phique (carte des contraintes) où chaque groupe de contraintes est représenté par une couleur différente et chaque type de contrainte par un figuré. Les contraintes édaphiques sont en noir, les contraintes hydrologiques en bleu et les contraintes géomorphologiques en rouge.

Ce document cartographique est primordial car il permet de formuler les propositions de mise en valeur et de définir, pour l'expérimentation agronomique, les thèmes différentiels sur lesquels la recherche devra se pencher.

3 - LES CLASSES DE PROPOSITIONS D'AMENAGEMENT

3.1 - Les objectifs de l'aménagement

Les objectifs ont été définis dans le rapport de préfactibilité du Projet d'Aménagement et de mise en valeur des vallées des Volta.

L'aménagement du milieu naturel comprend trois volets importants :

- une mise en valeur agricole de zones associant l'agriculture et l'élevage,
- la délimitation de zones réservées à l'élevage extensif,
- la reforestation.

. La mise en valeur agricole :

les zones à vocation agricole seront défrichées mécaniquement (ou à la main) et leur mise en valeur prévoira des dispositifs anti-érosifs, cultures en courbes de niveau avec ados entre les parcelles ou bandes d'arrêt. Les rendements estimés (minimum) pour chaque type de culture sur ces parcelles aménagées sont donnés dans le tableau suivant, en les comparant avec les rendements obtenus en grande culture par les méthodes traditionnelles.

	parcelle aménagée rdt en kg/ha	culture traditionnelle rdt en kg/ha
sorgho tradi- tionnel	1 100	500 à 600
mil traditionnel	800	400 à 600
arachide	1 200	600 à 700
coton	1 000 à 1 200	500 à 600
riz de bas-fonds	2 000	800 à 1 000

Les rendements des parcelles aménagées devraient être entre 2 et 2,5 fois plus élevés que sur les parcelles de culture traditionnelle.

Nous serons donc amenés à utiliser les zones dont la potentialité actuelle des sols est la plus élevée.

. L'élevage

L'utilisation de la traction bovine et l'implantation d'un programme d'élevage extensif impliquent la recherche de pâturages, tant de saison sèche que de saison humide.

. La reforestation

les reboisements seront effectués afin d'assurer l'approvisionnement en bois de OUAGADOUGOU.

Tous ces objectifs, essentiellement d'ordre technique et économique et dont nous avons tenu compte lors de l'établissement de la carte des propositions d'aménagement, nous ont permis, en fonction des diverses contraintes du milieu naturel, d'établir une classification des types d'aménagement proposés. Afin de ne pas dissocier les contraintes et les propositions d'aménagement, nous examinerons, pour chaque classe de proposition d'aménagement, les différents

... / ...

facteurs positifs ou négatifs qui nous ont amenés à la définir, ainsi que les améliorations possibles.

3.2 - Les classes de proposition d'aménagement

3.2.1 - Classe IV

Zones non utilisables à des fins agronomiques, pastorales et forestières, correspondant aux sols bruts d'érosion et aux sols peu évolués lithiques et régosoliques.

Aucun type de spéculation ne peut être envisagé par suite de la présence de contraintes édaphiques et géomorphologiques non modifiables.

Ces zones où l'action érosive des pluies est très ancienne devront être mises en défens, de façon à favoriser au maximum le développement de la végétation naturelle qui peut, à elle seule, limiter un peu la morphodynamique et améliorer les caractères physiques des sols.

En conséquence, ces zones devront être impérativement protégées des feux de brousse.

Les cuirasses inférieures pourront être utilisées pour l'implantation des villages.

3.2.2 - Classe III

Possibilités exclusivement pastorales (saison humide et saison sèche).

Il s'agit du bas-fond servant d'exutoire au glaciais. La contrainte essentielle est le régime d'inondation durant les fortes averses. Les sols sont du type brun eutrophe, à bonne fertilité minérale; cela implique l'implantation rapide d'une végétation graminéenne dense, mais il ne faut en aucun cas mettre en culture ces sols et leur conserver leur rôle d'exutoire naturel. Dans le cas contraire, on

assisterait à une destruction du sol avec la création de griffes d'érosion, exemple très courant dans les zones à cultures traditionnelles.

Ces zones devront rester enherbées et serviront de pâturages de saison humide et de saison sèche par suite de la forte capacité de rétention en eau des sols (texture argilo-limono-sableuse). Elles devront être utilisées comme chemin de parcours du bétail.

Lorsqu'elles sont à l'intérieur d'unités à vocation agricole, il faudra faire attention à leur voie d'accès, celle-ci devra - dans la mesure du possible - garder la pente naturelle et rester enherbée.

3.2.3 - Classe II

Cette classe regroupe tous les sols à potentialités agricoles très faibles à faibles, présentant en outre dans leur profil un écoulement hypodermique dû à la présence d'un horizon induré, graveleux ou gravillonnaire, limitant ainsi fortement l'épaisseur du sol. Ils sont d'autre part soumis à une morphodynamique pelliculaire actuelle généralisée.

Suivant l'intensité de cette morphodynamique pelliculaire, de la nature du matériau originel et de la position topographique, nous avons défini deux sous-classes:

- sous-classe II a : possibilités exclusivement forestières,
- sous-classe II b : possibilités forestières ou pastorales de saison humide,

. sous-classe II a

Possibilités exclusivement forestières :

ce sont les "dépressions périphériques" situées autour des buttes cuirassées et des massifs rocheux, et soumises à

une morphodynamique très intense et généralisée, essentiellement due à l'absence de végétation. Les sols sont peu profonds. La reforestation et la protection de la strate herbacée permettraient de freiner l'action érosive des pluies.

L'action conjuguée de ces deux mesures doit permettre de favoriser l'infiltration des eaux de pluie, d'augmenter le taux de matière organique, de restructurer les sols, et ainsi, de protéger les zones situées en aval.

La technique de mise en valeur et d'exploitation devra être définie par un programme de recherches et d'expérimentations qui comprendra :

- l'inventaire des espèces et genres locaux adaptés aux conditions du milieu et la détermination de leur valeur fourragère,
- la détermination de modes d'exploitation optimale de ces diverses espèces (époque, charge, coupe).

. sous-classe II b :

Possibilités forestières ou pastorales de saison humide:

Les sols sont peu profonds, et à écoulement hypodermique; ils sont soumis à une morphodynamique pelliculaire intense et généralisée. Durant la saison des pluies la nature gravillonnaire du matériau (sols peu évolués, d'apport colluvial sur cuirasses) ou sableuse^{et}/gravillonnaire (sols ferrugineux lessivés à concrétions) favorise l'alimentation hydrique des plantes : c'est pour cette raison que nous avons créé cette sous-classe, en introduisant la possibilité de pâturage de saison humide, en plus de la possibilité d'utilisation forestière.

Les techniques de mise en valeur forestière devront s'appuyer sur les résultats d'une recherche et d'une expérimentation concernant :

- les espèces pouvant s'adapter à ce milieu,
- leur utilisation ("bois de service")
- leur mode d'exploitation.

Quant aux techniques de mise en valeur et d'exploitation des zones à possibilités pastorales de saison humide, elles se baseront sur les résultats d'un programme de recherches et d'expérimentations comportant surtout les points suivants :

- inventaire des espèces et de leur valeur fourragère,
- essai d'introduction d'espèces nouvelles adaptées aux conditions de milieu,
- détermination de la charge (pâturage extensif) et de la durée de l'utilisation du pâturage,
- détermination du seuil de charge pastorale au delà duquel se déclenche un ruissellement diffus très intense en début de saison des pluies (surpâturage).

Il est bien évident que la mise en valeur rationnelle de ces zones implique de les protéger efficacement contre les feux de brousse (création de pare-feux) et des "troupeaux nomades" (création de couloirs de transhumance).

3.2.4 - Classe I

Elle concerne l'ensemble des zones à possibilités agricoles. Les sols correspondant possèdent une potentialité moyenne à bonne.

En fonction des caractères morphopédologiques, nous avons distingué trois sous-classes :

- sous classe I a : possibilités agricoles avec aménagement foncier lourd,
- sous classe I b : possibilités agricoles avec aménagement foncier léger,
- sous-classe I c : possibilités agricoles pour les cultures exigeantes vis-à-vis du régime hydrique, avec aménagement de bas-fonds.

Par "aménagement foncier" nous entendons l'ensemble des techniques préparatoires nécessaires à la mise en culture des parcelles (réalisation d'ados, de bandes d'arrêt, sous-solage, labour profond); le terme "façons culturales" englobe l'ensemble des techniques de culture, depuis la préparation du lit de semence jusqu'à la récolte (hersage, pulvérisage, sarclage, binage).

. Sous-classe I a

Possibilités agricoles avec aménagement foncier
lourd:

Les sols sont profonds et ont une potentialité faible à moyenne car ils sont soumis à une morphodynamique pelliculaire intense, généralisée ou non (sols ferrugineux hydromorphes dégradés, sols bruns vertiques dégradés) provoquant :

- un glaçage de la surface,
- une destructuration et un appauvrissement de l'horizon de surface,
- l'apparition d'un écoulement hypodermique sous l'horizon de surface dû à une discontinuité, et limitant la percolation.

Les techniques d'aménagement auront pour but :

- de lutter contre le ruissellement diffus,
- de supprimer la discontinuité, donc de modifier la dynamique de l'eau en favorisant l'infiltration, augmentant ainsi les réserves en eau du sol, surtout en début de saison des pluies.

Parallèlement à ces techniques, il faudra maintenir durant l'exploitation agricole, les caractéristiques physico-chimiques favorables des sols (structure, taux de matière organique, richesse en éléments nutritifs).

Notre but n'est pas ici d'étudier le plan d'aménagement (absence de données topographiques, de résultats expérimentaux), mais de proposer un certain nombre de techniques qui, en fonction des caractéristiques du milieu (climat, sols, morphopédologie) devront faire l'objet d'une expérimentation sur de grandes parcelles, en fonction du type de culture et de la rotation envisagée (problème de la jachère et de sa place dans la rotation des cultures).

• lutte contre le ruissellement diffus :

Nous avons vu que ce processus se déclenchait sur des pentes faibles mais longues (inférieures à 2 %). Il est donc inutile d'envisager l'établissement d'un réseau de banquettes. On cultivera en bandes alternées perpendiculairement à la pente. La création de bandes permanentes d'absorption enherbées pourra, le cas échéant, favoriser en amont une certaine sédimentation. Toutes les techniques culturales devront être faites suivant les courbes de niveau. En fonction de la pente longitudinale (entre 0,5 et 2 %) les intervalles entre deux bandes alternées varieront entre 40 et 80 mètres; la largeur des bandes permanentes sera toujours supérieure à 2 mètres.

Les bandes alternées doivent toujours se raccorder sur exutoires naturels.

. Lutte contre l'écoulement hypodermique :

Elle aura pour but de supprimer la discontinuité au sein du profil, par un sous-solage ou des labours profonds, et de mélanger les éléments de la couche superficielle avec ceux de l'horizon sous-jacent, et cela sans créer de nouvelles discontinuités. L'enfouissement de certains résidus de récolte à dégradation rapide et de l'inclusion d'une jachère dans la rotation, doivent permettre de maintenir un taux de matière organique correct et une bonne structure.

L'emploi de ces techniques, spécialement au début de l'exploitation agricole, nécessite l'utilisation d'un matériel puissant, surtout si certains travaux doivent être faits en fin de saison sèche (sous-solage, labour d'ouverture) afin de favoriser l'infiltration des premières pluies. C'est pour cette raison que nous avons défini cette sous-classe par la nécessité d'entreprendre des aménagements lourds.

. Sous-classe I b

Possibilités agricoles avec aménagement foncier léger

Ces zones à potentialité agricole moyenne à bonne, situées sur des sols profonds où la morphodynamique pelliculaire est peu intense et non généralisée, possèdent une végétation naturelle à strate herbacée dense.

Leur mise en culture implique un défrichement, et donc la mise en oeuvre de techniques ne devant pas aggraver les processus de ruissellement diffus.

Pour cela nous préconisons l'utilisation de cultures en bandes alternées avec billons isohypses. L'implantation de bandes permanentes ne se justifiera que toutes les deux ou trois bandes de culture.

Le raccordement de ces bandes de culture devra toujours se faire sur les exutoires naturels.

L'aménagement de ces zones ne nécessite pas l'utilisation de matériel puissant et bouleverse peu le milieu morpho-pédologique. Il s'agit donc d'aménagements "légers".

. Sous-classe I c :

Possibilités agricoles pour les cultures exigeantes vis-à-vis du régime hydrique

Cette sous-classe exploite les grands bas-fonds (BOMBORE, KOULIPELE, ...); les sols lourds et profonds à perméabilité très réduite (sols hydromorphes à pseudo-gley ou à gley, possèdent une bonne aptitude culturale pour le riz. Mais leur utilisation ne peut se concevoir sans un aménagement des bas-fonds et cela pour plusieurs raisons :

- Morphodynamique fluviale due au changement de lit,
- absence de nappe phréatique sous-jacente,
- régime de submersion irrégulier et non contrôlable par suite des variations brutales et excessives des débits du marigot principal et des marigots secondaires,
- bilan sédimentologique négatif se traduisant par une érosion ravinante au niveau du lit du marigot et des bas de versants à morphodynamique concentrée.

L'aménagement de ces bas-fonds ne peut donc être envisagé qu'après une étude de leur régime hydrologique et des possibilités d'édification d'un barrage en amont du périmètre d'aménagement. Ensuite, une étude pédologique de détail, utilisant des documents topographiques à grande échelle, permettra de définir avec précision les zones aménageables, la superficie à mettre en valeur (fonction des quantités d'eau disponibles) et les techniques d'aménagement : rectification du lit du marigot, création de canaux latéraux, stabilisation des incisions vives, nivellement de la surface (présence de cuvettes de décantation).

Conclusion sur les zones à possibilités agricoles

L'ensemble des techniques d'aménagement doit, dans le cas des sous-classes I a et I b, tendre à modifier le régime hydrique actuel défavorable (ruissellement diffus, écoulement hypodermique) et favoriser au maximum l'infiltration, surtout en début de saison des pluies. Pour que ces mesures soient efficaces il faut en plus, intégrer cet aménagement dans celui des zones situées en amont et en aval.

L'aménagement des terres de la sous-classe I c doit être entrepris après une étude sérieuse du régime hydrologique des cours d'eau, et cela, à l'échelle du bassin versant.

4 - LES LIAISONS MILIEU PHYSIQUE - EXPERIMENTATION
AGRONOMIQUE

Il est prévu l'implantation d'un site d'expérimentation agronomique sur chacun des blocs expérimentaux. Le programme de ce point d'essai doit porter sur :

- des essais de comportement,
- des essais de fumure,
- des essais de rotation et de conservation des sols,
- des essais d'amélioration de la jachère et des pâturages,
- des essais de techniques culturales.

Quatre zones expérimentales ont été choisies

- zone expérimentale de LINOUGHIN,
- " " " " " MANGA
- " " " " " BITTOU
- " " " " " TIEBELE

4.1 - Caractéristiques générales des zones expérimentales

Nous ne donnerons ici que les caractères généraux de chacune des zones car celles-ci seront étudiées en détail dans le rapport particulier concernant chacun des blocs.

4.1.1 - Zone expérimentale de LINOUGHIN (bloc de MOGTEDO)

Le point d'appui se situe sur un glacis polygénique de pente faible (inférieure à 2 %) sur substratum granito-gneissique. Ce glacis façonné par des processus de morphogénèse ancienne (phase de dissection puis d'apport) est actuellement soumis à une morphodynamique de type pelliculaire intense et assez généralisée (glacage, décapage localisé).

Dans le matériau de la dernière phase d'apport à texture sablo-argileuse s'est individualisée une pédogénèse de type brunifiante. Cette pédogénèse est actuellement ralentie :

- par la présence en profondeur d'un apport gravillonnaire reposant sur un héritage vertical qui crée une discontinuité (engorgement temporaire au niveau de l'horizon gravillonnaire avec trace de lessivage dû à un écoulement hypodermique)
- par le processus de ruissellement diffus qui entraîne une dégradation de l'horizon de surface, la disparition de la structure sur quelques centimètres limitant ainsi l'activité biologique.

Les sols appartiennent à la classe des sols bruns vertiques tropicaux dégradés à hydromorphie de profondeur.

4.1.3 - Zone expérimentale de BITTOU (bloc de BANE)

Le point d'appui se situe à la partie supérieure d'un glacis soumis actuellement à une morphodynamique de type pelliculaire très intense. Au niveau des sols, ce processus se traduit par une dégradation de l'horizon de surface (glaçage, absence de structure) et une dynamique de l'eau très défavorable (ruissellement diffus en surface, infiltration réduite). La pédogénèse de type verticale se trouve dans ces conditions freinée et l'on observe un bilan morphogénèse-pédogénèse nettement en faveur de la morphogénèse. Le substratum est constitué par des migmatites avec filons de pegmatites. Les caractéristiques morphologiques des sols sont les suivantes :

- en surface, une mince pellicule de sable grossier, puis sur 20 centimètres, un horizon à texture sableuse faiblement argileuse, à structure compacte reposant sur un horizon de profondeur de type verticale (texture argileuse, structure prismatique). La roche mère peu altérée apparaît vers 70 cm de profondeur.

Remarque : Un premier point d'appui (BITTOU, I) avait été mis en place avant l'étude du bloc de BANE. Ce point, situé sur vertisol ayant les mêmes caractéristiques physico-chimiques que celles du point d'appui de MANGA, n'était pas représentatif de la région. C'est pour cette raison que nous avons été amenés à choisir un nouveau point d'essai (BITTOU, II) dont nous avons décrit ci-dessus les caractéristiques.

4.2 - Les thèmes d'expérimentation proposés

L'expérimentation agronomique devra étudier les points suivants :

- Conservation des sols

Il faudra tester diverses méthodes permettant de modifier le régime hydrique très défavorable des sols (ruissel-

... / ...

lement diffus, écoulement hypodermique):

- . détermination des intervalles entre les bandes d'absorption et de la taille de celles-ci afin de freiner ou de supprimer le ruissellement,
- . étude de diverses façons culturales d'ouverture (sous-solage, labour profond, hersage, pulvérisage), afin de supprimer l'écoulement hypodermique en mélangeant les matériaux de surface et de profondeur,
- . étude du régime hydrique des sols par l'observation de leur profil hydrique, détermination de leur capacité d'absorption.

- Amélioration du matériel végétal

Recherche des variétés adaptées aux conditions climatiques. Etude de leur comportement en fonction des techniques culturales nouvelles qu'implique la lutte anti-érosive.

- Etude de rotation

Place de chaque culture dans un système de rotation avec jachère. Type de rotation donnant les meilleurs précédents culturaux en fonction des programmes de fertilisation.

- Fertilisation

Amélioration des propriétés physico-chimiques et biologiques des sols (engrais, matière organique).

Tous ces essais devront être réalisés, à l'exclusion des essais variétaux, sur de grandes parcelles; c'est à cette seule condition que l'on pourra appliquer les résultats sur les zones à aménager.

*

*

*

CONCLUSION GENERALE

Dans ce rapport, nous avons insisté sur les processus de la morphodynamique pelliculaire provoqués par des conditions climatiques très contrastées et par la destruction de la végétation.

Le ruissellement diffus provoque la destruction des sols.

Le régime hydrique extrêmement défavorable est accentué par la nature du matériau originel. On peut dire que la majorité des sols se forme à partir d'un matériau de recouvrement (morphodynamique ancienne) présentant des discontinuités texturales engendrant un écoulement hypodermique de l'eau. Les milieux stables ou faiblement instables sont rares. Les milieux pénestables prédominent et leur mise en valeur devra utiliser des méthodes de lutte contre l'érosion de façon à favoriser au maximum l'infiltration (culture en bandes alternées, façon culturales en courbes de niveau) et à maintenir une bonne structure des sols, liée, bien sûr, à l'amélioration organique du profil.

La mise en valeur des zones à possibilités agricoles devrait être intégrée à un programme de protection des zones amont et aval (reforestation, protection et amélioration de la strate herbacée).

L'étude des blocs expérimentaux a permis de choisir des zones expérimentales sur les blocs ou à proximité de ceux-ci. Sur ces zones, représentatives des milieux à possibilités agronomiques, devrait être mis en place un certain nombre d'essais comportant les grands thèmes suivants :

... / ...

- Lutte contre l'érosion avec essai de conservation des sols,
- Amélioration du matériel végétal et de son adaptation au milieu,
- Système de rotation permettant, par une diversification des cultures, d'améliorer, puis de conserver la potentialité des sols (amélioration organique, fertilisation).

*

B I B L I O G R A P H I E

- 1 - ASECNA : "Aperçu sur le climat de la Haute-Volta"
Service Météorologique, OUAGADOUGOU.
- 2 - BOULET, R., 1968 : "Etude pédologique de la Haute-Volta, région Centre Nord".
ORSTOM, Ministère de l'Economie Nationale, Direction du Génie Rural de la Haute-Volta.
- 3 - BRAMMERS, H., 1959 : "Visite en Haute-Volta".
KUMASI, Dept. of Soil and Land use survey.
- 4 - BROUWERS, M., 1970 "Reconnaissance pédologique pour la recherche des "classes d'orientations culturelles" dans les ORD de OUAGADOUGOU et KOUDOUGOU".
IRAT/NOGENT.
- 5 - CPCS., 1967 "Classification des sols".
Edition Laboratoire Géologie - Pédologie, ENSA/GRIGNON.
- 6 - CTFT, 1973 : "Contribution à l'étude de la désertification de l'Afrique Tropicale sèche"
CTFT, NOGENT.
- 7 - GALABERT, J. et MILLOGO, E., 1972 : "Indice d'érosion par la pluie en Haute-Volta"
CTFT, Minist. de l'Agriculture, de l'Elevage et des Eaux et Forêts.
- 8 - IRAT, 1971 : "Notes recueillies au cours des conférences de M. le Professeur TRICART et de M. GAUCHER : Stage : rapports géomorphologie - pédologie".
IRAT / NOGENT.
- 9 - KALOGA, B., 1963: "Reconnaissance pédologique des bassins versants des Volta Blanche et Rouge -
1 = Etude pédologique.
ORSTOM, Minist. de l'Economie Nationale, Direction du Génie Rural de la Haute-Volta.

- 10 - KALOGA, B., 1966 : "Etude pédologique des bassins versants des Volta Blanche et Rouge en Haute-Volta, 1ère partie : le milieu naturel" .
Cahiers ORSTOM, Serie Pédologie, Vol. IV, n° 1.
- 11 - KALOGA, B., 1966 : "Etude pédologique des bassins versants des Volta Blanche et Rouge en Haute-Volta, 2ème partie : les vertisols " .
Cahiers ORSTOM, Série Pédologie, vol. IV, n° 3.
- 12 - KALOGA, B., 1970: "Etude pédologique des bassins versants des Volta Blanche et Rouge en Haute-Volta, 3ème partie : 1 = sols bruns eutrophes".
Cahiers ORSTOM, Série Pédologie, Vol. VIII, n° 1.
- 13 - GEORGE, B. : "Rôle de l'analyse du modelé latéritique dans la prospection des nappes d'eau des terrains d'altération en Afrique Occidentale".
Bull. BRGM, (2ème série), Sect. III, n° 2, 1968.
- 14 - KILIAN, J., 1972 : "Les inventaires morphopédologiques"
Agronomie Tropicale, Vol. XXVII, n° 9.
- 15 - KILIAN, J., 1973 : "Aménagement des Volta - Etudes pédologiques - Conceptions de travail (application au terroir de MOGTEDO) .
IRAT / NOGENT.
- 16 - LEMOINE, L., et PRAT, J.-C., 1972 : "Cartes d'évapo-transpiration potentielle".
C.I.E.H.
- 17 - MAIGNIEN, 1968 : "Les sols ferrugineux tropicaux - Unités pédogénétiques".
ORSTOM / YAOUNDE (Cameroun).
- 18 - ORSTOM, 1969 : "Etude pédologique de la Haute-Volta - Rapport de synthèse"
Rep. de Haute-Volta, Dir. de l'Economie Nationale,
Dir. du Génie Rural.

- 19 - ROOSE, E.J., 1971 : "Influence des modifications du milieu naturel sur l'érosion - Le bilan hydrique et chimique suite à la mise en culture sous climat tropical - Synthèse des observations en Côte d'Ivoire et en Haute-Volta".
ORSTOM, Centre d'ADIOPOUDOUME.
- 20 - S.A.E., 1971 : "Projet d'aménagement et de mise en valeur des vallées des Volta. Etude de préfactibilité".
Secret. d'Etat aux Aff. Etrang., Minist. du Plan de l'Industrie et des Mines.
- 21 - SOGETHA, 1964 : "Etude de programmes d'actions régionales - Région de OUAGADOUGOU".
FAC. Minist. de l'Economie Nationale (Rep. de Haute-Volta), 2 volumes.
- 22 - TRICART, J., 1970 : "Données géomorphologiques connexes de la Pédologie"
STRASBOURG, Centre de Géographie Appliquée (document ronéo).
- 23 - TRICART, J., 1973 : " La Géomorphologie dans les études intégrées d'aménagement du milieu naturel".
Annales de Géographie. LXXXIIème année., 1973, pp. 421-453.

*