

G. BOCQUIER
P. AUDRY

NOTICE EXPLICATIVE

N° 61

**CARTE PEDOLOGIQUE
DE RECONNAISSANCE
DE LA REPUBLIQUE DU TCHAD**

à 1/200.000

**ABOU-GOULEM, ADRE
AM ZOER
GUEREDA**



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE O.R.S.T.O.M. DE N'DJAMENA

PARIS 1975



NOTICE EXPLICATIVE

N° 61

**CARTE PEDOLOGIQUE
DE RECONNAISSANCE
DE LA REPUBLIQUE DU TCHAD**

à 1/200.000

**ABOU-GOULEM ADRÉ
AM ZOER
GUEREDA**

G. BOCQUIER - P. AUDRY
et collaborateurs

O.R.S.T.O.M. - PARIS 1975

© O.R.S.T.O.M. 1975
ISBN 2-7099-0384-9

SOMMAIRE

| | |
|--|----|
| INTRODUCTION | 1 |
| PREMIERE PARTIE : ETUDE DU MILIEU NATUREL ET DES FACTEURS DE FORMATION DES SOLS | 3 |
| Le climat et les pédoclimats : | |
| I — Caractéristiques du climat général | 5 |
| II — Climat et évolution des sols — Pédoclimats | 7 |
| III — Climat et érosion | 11 |
| Les Roches-mères, le modelé et les matériaux originels des sols : | |
| I — Les principales formations géologiques | 13 |
| II — Le modelé | 15 |
| III — Les matériaux originels | 19 |
| La végétation | 31 |
| DEUXIEME PARTIE : ETUDE DES SOLS | 35 |
| Caractère généraux de la pédogenèse | 37 |
| Classification et légende | 41 |
| Etude monographique des sols : | |
| I — Les sols minéraux bruts | 45 |
| II — Les sols peu évolués | 45 |
| 1. Les sols régiques | 46 |
| 2. Les sols peu évolués d'apport sur alluvions | 56 |
| III — Les sols bruns subarides | 59 |
| IV — Les sols ferrugineux tropicaux | 65 |
| 1. Les sols ferrugineux, non lessivés, peu évolués, sur sables éoliens . | 66 |
| 2. Les sols ferrugineux évolués, peu lessivés, sur divers matériaux. . . | 68 |
| 3. Les sols ferrugineux lessivés, avec ou sans concrétions | 75 |
| 4. Les conditions d'utilisation de l'ensemble des sols ferrugineux tropicaux. | 79 |
| V — Les solonetz solodisés | 80 |
| VI — Les vertisols | 86 |
| CONCLUSIONS | |
| I — Pédogenèse - Distribution des sols | 91 |

| | | |
|----------------------|---|-----|
| II | — Conditions d'utilisation des sols | 92 |
| BIBLIOGRAPHIE | | 97 |
| ANNEXES | | |
| 1 | — Surface des différentes unités cartographiques | 100 |
| 2 | — Liste des dossiers de caractérisation pédologique consultables | 102 |

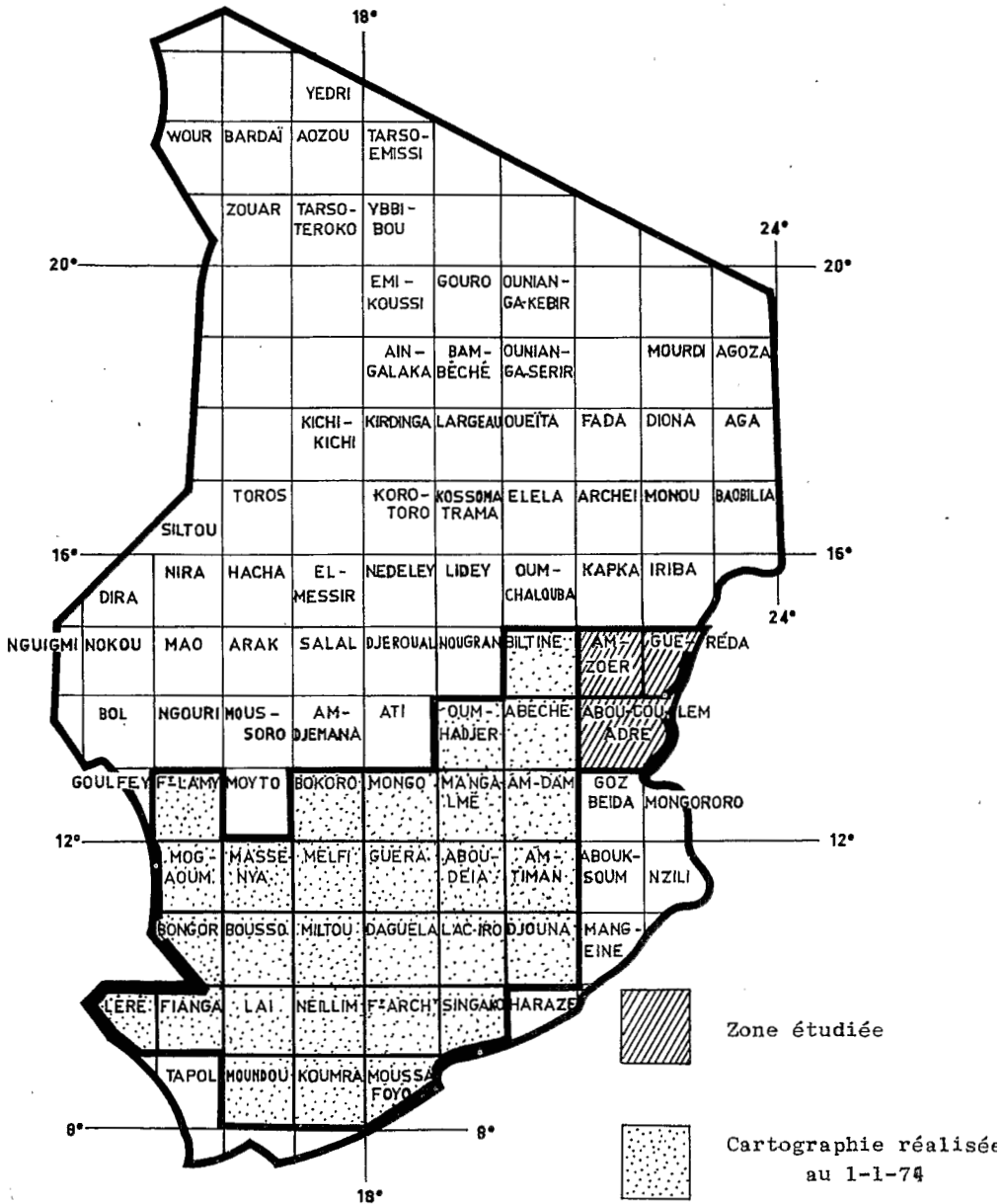


Figure 1
 LOCALISATION DE LA ZONE ETUDIÉE ET ETAT D'AVANCEMENT
 DE LA CARTOGRAPHIE PEDOLOGIQUE DE RECONNAISSANCE
 EN REPUBLIQUE DU TCHAD AU 1.1.74



INTRODUCTION

Les cartes pédologiques des trois feuilles IGN : ABOUGOULEM - ADRE, AM ZOER, GUEREDA et la présente notice explicative, ont été réalisées dans le cadre d'une convention établie entre la Direction de l'Agriculture du Tchad et l'ORSTOM, entrant dans le projet 59 de la Convention de Financement FAC n° 12/C/64/M.

Les travaux de terrain ont été étalés sur deux campagnes : octobre-décembre 1963 et novembre-décembre 1964. Ils ont été réalisés sous la responsabilité de G. BOCQUIER (ABOU GOULEM - ADRE) et P. AUDRY (AM ZOER et GUEREDA), avec la participation de J. BARBERY, C. CHEVERRY, M. FROMAGET, P. POISOT et plus partiellement Y. GAUTIER.

Outre les cartes géologiques de reconnaissance au 1/500.000 (ADRE, IRGM 1960 et NIERE, BRGM 1963), les documents de base utilisés sur le terrain sont les fonds topographiques de l'IGN au 1/200.000 (ND.34.X - ND.34.XVII) et la couverture photographique aérienne IGN au 1/50.000. Cette dernière a d'abord permis de choisir des itinéraires de reconnaissance et, sur ceux-ci des emplacements de profils pédologiques repérés et situés avec précision (modélé, végétation...), dont l'étude a conduit à l'établissement de l'inventaire général des sols et de leur classification, tout en dégagant leurs relations mutuelles.

La deuxième phase a consisté à reconnaître, sur le terrain, l'extension des unités de sols ainsi définies et à reporter les limites recoupées, directement sur photographies aériennes ; d'abord sur les itinéraires principaux, puis sur des itinéraires de complément.

L'extrapolation de ces limites, en fonction des observations de terrain, a été réalisée par photo-interprétation systématique au Centre ORSTOM de N'DJAMENA. Y. GAUTIER a fait un premier dégrossissage ; G. BOCQUIER et P. AUDRY ont fait l'interprétation détaillée, le tracé des limites et leur report sur fond au 1/200.000 ; les minutes ainsi obtenues ont été remises au net et définitivement dessinées par J.C. POTTIER et R. SAYOL ; le dessin définitif des cartes a enfin été réalisé par A. DOUIB au Service Cartographique de l'ORSTOM, à Bondy.

Au total, 374 profils pédologiques ont été observés en détail dont 111 ont été retenus pour analyses, soit 471 échantillons. Les analyses ont été effectuées au laboratoire du Centre ORSTOM de N'DJAMENA, sous la direction de J. CHANUT et M. FALABREGUES.

Ces trois cartes pédologiques clôturent en même temps la convention sus-mentionnée qui en comportait treize et une longue entreprise de cartographie de reconnaissance au 1/200.000 réalisée au Tchad par l'ORSTOM, qui se concrétise par trente et une cartes existantes. Commencé depuis plus de quinze ans et exécuté partie sur convention avec la Direction de l'Agriculture sur financement FAC, partie sur budget propre de l'ORSTOM, ce travail couvre en surface 80 % du Tchad méridional agricole (cf. planche 1) et comprend l'étude de ses grands ensembles naturels et écologiques ; c'est à partir de ces résultats qu'ont pu être réalisées des synthèses déjà publiées sur les sols du Tchad : carte pédologique du Tchad au 1/1.000.000 (PIAS, 1970) ; étude des conditions d'utilisation des sols de la Cuvette tchadienne (DABIN, 1969).

PREMIERE PARTIE

**ÉTUDE DU MILIEU NATUREL
ET
DES FACTEURS DE FORMATION DES SOLS**

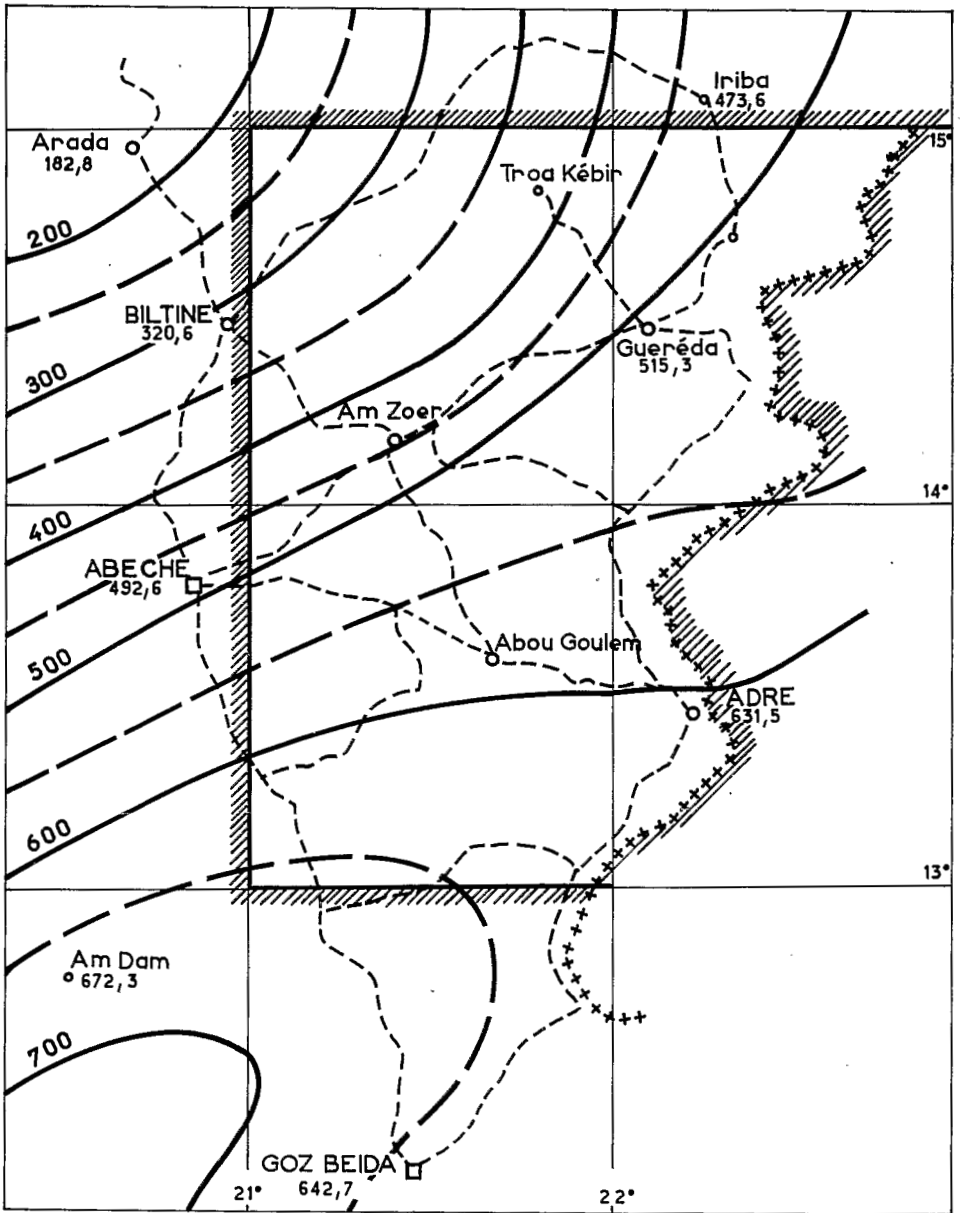


Figure 2
DONNEES CLIMATOLOGIQUES
 Isohyètes normales
 (d'après le Service Météorologique National de la République du Tchad)

LE CLIMAT ET LES PEDOCLIMATS

I. Caractéristiques du climat général

Bien que les renseignements météorologiques soient peu abondants sur la zone étudiée, on peut obtenir une description assez précise des facteurs du climat intéressant l'évolution des sols, en recourant aux données disponibles à l'échelle régionale (ASECNA, Service Météorologique National, ORSTOM).

Ces principales données sont présentées dans les tableaux 1 et 2 et les figures 2, 3, 4 ci-contre et ci-après, et permettent les commentaires suivants :

Tableau 1 : Moyennes pluviométriques (d'après le Service Météorologique du Tchad)

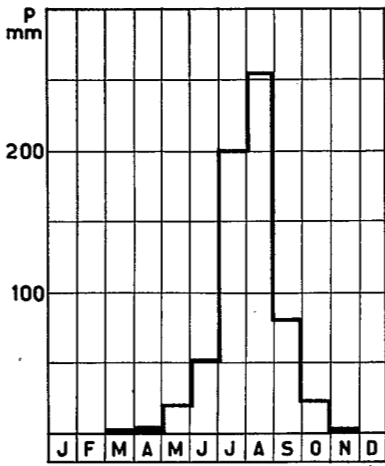
| | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | Année | Maxi | Mini |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|-------|-------|-------|------|-----|-----|-------|-------|-------|
| BOZ BEIDA (10 ans) | 0,0 | 0,0 | 0,6 | 3,9 | 15,4 | 81,7 | 117,9 | 242,5 | 147,2 | 53,5 | 0,0 | 0,0 | 642,7 | 826,2 | 446,0 |
| ADRE (15 ans) | 0,0 | 0,0 | 0,4 | 1,9 | 19,3 | 51,6 | 198,9 | 254,4 | 80,3 | 22,2 | 2,5 | 0,0 | 631,5 | 850,2 | 354,7 |
| GUEREDA (10 ans) | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 1,8 | 0,3 | 38,8 | 151,4 | 281,1 | 38,4 | 32,2 | 0,0 | 0,0 | 515,3 | 969,0 | 324,2 |
| ABECHE (31 ans) | 0,0 | tr. | 0,1 | 0,8 | 20,3 | 35,9 | 138,0 | 220,7 | 65,2 | 11,6 | tr. | 0,0 | 492,6 | 898,5 | 334,7 |
| RIBA (6 ans) | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 0,0 | 15,1 | 15,2 | 128,3 | 288,2 | 25,1 | 1,4 | 0,0 | 0,0 | 473,6 | 490,8 | 232,0 |
| ILTINE (12 ans) | 0,0 | 0,0 | 0,7 | 1,0 | 5,2 | 23,3 | 109,1 | 151,8 | 25,6 | 3,9 | 0,0 | 0,0 | 320,6 | 769,6 | 187,0 |
| ARADA (5 ans) | 0,0 | 0,0 | 1,5 | 0,0 | 0,0 | 11,9 | 26,3 | 133,5 | 9,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 182,8 | 325,3 | 20,5 |

- Le total annuel des précipitations varie sur la zone étudiée entre 650 mm dans le sud et 250 mm environ dans l'extrême angle nord-ouest.

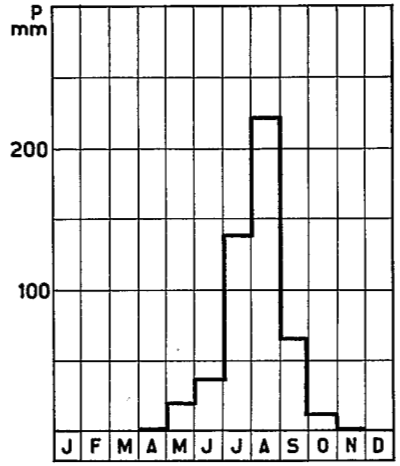
Les isohyètes présentent un très net relèvement vers l'est (inclinaison à 45°), sur les reliefs qui, à latitude égale, sont très sensiblement plus arrosés.

La variation interannuelle du total annuel est partout forte ; d'autant plus forte relativement, que le total est plus faible.

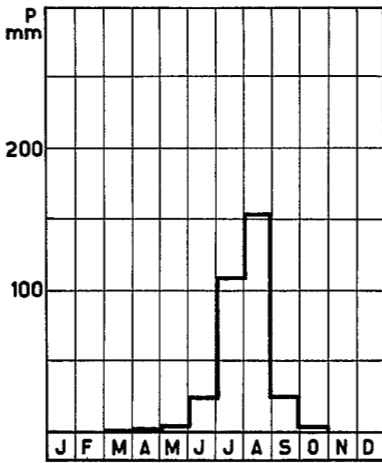
- Le climat général est de type tropical sec à saisons alternées ; d'après la classification d'AUBREVILLE, la plus grande partie de la zone cartographiée relève



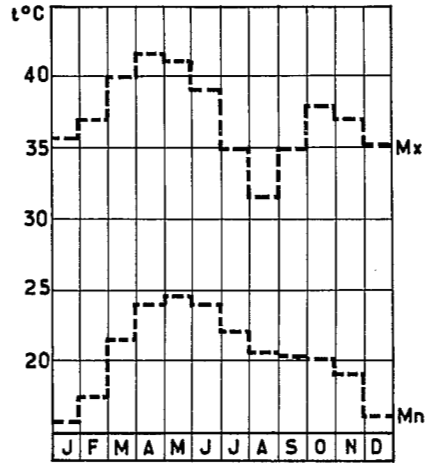
A. ADRE (15 ans)



B. ABECHE (31 ans)



C. BILTINE (12 ans)



D. ABECHE (18 ans)

Figure 3

DONNEES CLIMATOLOGIQUES

A - B - C - Précipitations moyennes mensuelles

D - Températures : maxima et minima moyens mensuels

du type sahélo-soudanais (total des précipitations supérieur à 400 mm), le demi degré carré nord-ouest de la feuille AM ZOER relevant du type sahélo-saharien.

- Pour caractériser le régime climatique de façon plus précise, l'indice des saisons pluviométrique d'AUBREVILLE (1) est 2.2.8 dans la partie Sud de la région et jusque vers 500 mm de précipitations ; il semble être 2.0.10, donc un régime très tranché, dans la partie nord-ouest (type BILTINE) et tendrait rapidement vers 1.0.11 en s'asséchant plus (type ARADA). Le maximum de précipitations est toujours situé en août.
- La température moyenne annuelle est élevée, avec 28°C pour la seule station existante : ABECHE. Les températures moyennes mensuelles maxima sont élevées et présentent un régime double : maximum absolu en avril et relatif en octobre, minimum absolu en août et relatif en décembre. Par contre, la courbe des températures moyennes mensuelles minima fait apparaître un régime simple : maximum en mai, minimum en janvier. L'amplitude moyenne annuelle est très forte : 16°C à ABECHE.

Tableau 2 : Températures - ABECHE (18 ans)

| | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | Ann. |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Moyenne des maxi | 35,8 | 36,9 | 40,0 | 41,6 | 41,0 | 39,1 | 34,9 | 31,6 | 34,9 | 38,1 | 36,9 | 35,3 | 37,2 |
| Moyenne | 25,2 | 27,2 | 30,7 | 32,9 | 32,9 | 31,4 | 28,4 | 26,1 | 27,7 | 29,2 | 28,1 | 25,8 | 28,8 |
| Moyenne des mini | 15,8 | 17,5 | 21,6 | 23,9 | 24,7 | 24,0 | 22,0 | 20,6 | 20,4 | 20,2 | 19,1 | 16,2 | 20,5 |

- L'humidité relative moyenne est très faible en saison sèche (15 à 40 %) ; elle atteint 70 à 90 % en saison des pluies.
- Il n'existe pas de données sur la température et l'humidité qui permettent de juger si le relèvement des isohyètes sur les reliefs s'accompagne d'autres particularités climatologiques qui feraient apparaître un faciès d'altitude des climats définis.

II. Climat et évolution des sols - pédoclimats

Le caractère dominant des climats définis est leur sécheresse qui s'accuse du sud vers le nord et surtout vers le nord-ouest. Le tableau 3 ci-après tente de schématiser comment évoluent, sur la zone considérée et avec référence à des régions mieux connues : les hauteurs et fréquences des précipitations à l'échelle de la saison des pluies et des mois les plus pluvieux.

(1) Groupe de trois chiffres indiquant dans l'ordre :

- le nombre de mois très pluvieux, définis par une pluviométrie supérieure à 100 mm.
- le nombre de mois dits intermédiaires, à pluviométrie comprise entre 30 et 100 mm.
- le nombre de mois écologiquement secs, définis par une pluviométrie inférieure à 30 mm.

**Tableau 3 : Précipitations et nombre de jours de pluie
(valeurs moyennes)**

| | | Total annuel | | Mois très pluvieux (P > 100 mm) | | | Mois d'août | |
|-----------|----------|--------------|---------|------------------------------------|---------|---------------|-------------|---------|
| | | P mm | N jours | N mois | P total | N jours total | P mm | N jours |
| ADRE | (15 ans) | 631,5 | 49,0 | 2 | 453,3 | 29,8 | 254,4 | 15,9 |
| ABECHE | (31 ans) | 492,6 | 46,9 | 2 | 358,7 | 29,0 | 220,7 | 16,8 |
| BILTINE | (12 ans) | 320,6 | 23,3 | 2 | 260,9 | 17,0 | 151,8 | 10,3 |
| N'DJAMENA | (34 ans) | 633,8 | 59,3 | 3 | 508,7 | 41,3 | 251,5 | 18,1 |
| DILBINI | (9 ans) | 595,0 | 48,3 | 3 | 447,3 | 34,7 | 220,9 | 16,1 |
| BOKORO | (20 ans) | 590,7 | 47,5 | 2 | 390,0 | 26,6 | 241,4 | 15,2 |

1. — Des remarques générales peuvent être formulées sur les **conditions d'évolution biochimique des matières organiques** dépendant des **pédoclimats des horizons superficiels** : les températures relativement élevées en saison des pluies créent des conditions d'activité biologique certainement très intenses (processus de minéralisation, humification,...) ; mais la durée de la saisons et la faible fréquence des pluies limitent en durée, et donc en effet, ces périodes d'activités. On doit en outre souligner que les alternances de dessiccation et d'humectation sont généralement considérées comme favorables aux phénomènes d'humification qui pourraient donc être un caractère dominant des sols.

2. — Si on ne dispose d'aucune donnée directe sur les **pédoclimats des sols de la région**, du moins peut-on estimer ou encadrer certains effets probables des conditions climatiques locales par comparaison avec des résultats — du reste rares et fragmentaires — relatifs à des études de **régime hydrique** menées dans d'autres régions.

a) Possibilités climatiques de constitution de réserve d'eau dans les sols

Pour un sol couvert de végétation active, ne peut être mis en réserve dans le sol, pendant une période donnée, que l'excédent des précipitations P par rapport à l'évapotranspiration potentielle ETP. Ainsi la différence des moyennes mensuelles de ces paramètres mesurés (P) ou calculés (ETP), représente une possibilité climatique de constitution de réserve d'eau dans les sols (figure 4) :

- dans le sud de la région étudiée, où le climat peut à la rigueur être comparé à celui de N'DJAMÉNA ou DILBINI-BOKORO, l'excédent serait de l'ordre de 175 mm (valeur observée à Fort-Lamy avec 27 mm en juillet et 148 en août).
- à ABECHE, il est réduit à 94 mm, concentré en août.
- cet excédent mensuel s'annulerait totalement enfin vers l'isohyète 300 mm.

Ceci n'a d'autre valeur que d'indice climatique global et pour diverses raisons :

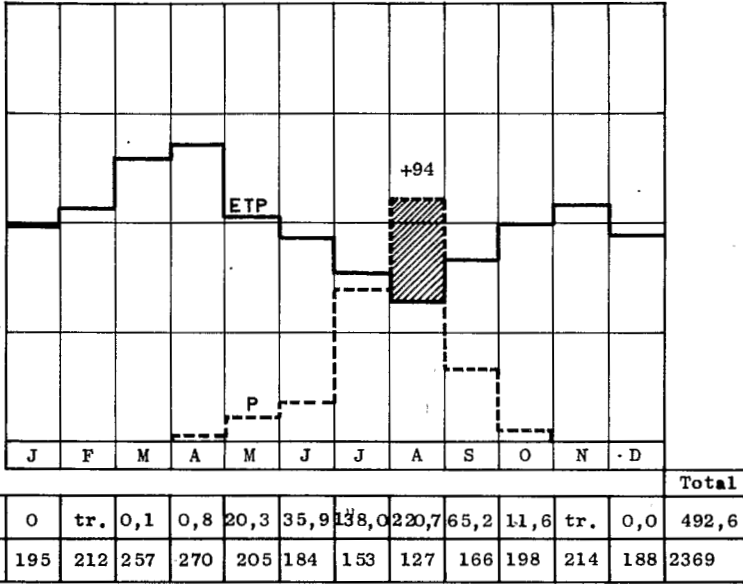


Figure 4
 COMPARAISON DE L'EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE (ETP)
 ET DE LA PLUVIOMETRIE (P) A ABECHE
 (Moyennes mensuelles en mm)

- c'est non pas à l'échelle du bilan mensuel, mais bien de l'averse et de la séquence d'averses, que se fait la pénétration de l'eau dans le profil et que peuvent jouer les phénomènes qu'elle induit comme des lessivages, des engorgements...
- en fonction même de ceci et compte tenu de la variabilité inter-annuelle des précipitations, tout raisonnement sur des moyennes mensuelles conduit à une estimation par défaut du comportement de l'eau dans les sols.
- l'évapotranspiration potentielle n'est pas atteinte en début de saison des pluies et cesse de l'être dès qu'un couvert végétal continu et actif n'est pas réalisé pour un raison quelconque.
- les régimes hydriques sont enfin très largement déterminés par la différenciation des profils.

b) Profondeur des régimes hydriques ; possibilité de lessivage, de drainage

On rappellera d'abord quelques résultats relatifs à une étude de régime hydrique effectuée à DILBINI, dans la région de BOKORO (AUDRY, 1967). Le sol étudié, sur lequel le ruissellement est estimé nul, y est de type ferrugineux tropical peu lessivé mais le profil est complexe du fait d'une évolution ancienne (ancien sol lessivé) et présente en particulier un B textural atteignant 15 % d'argile vers 150 cm de profondeur :

- sous savane, avec une pluviosité annuelle de 645 mm, le sol s'est mouillé jusqu'à 200 cm, réalisant une mise en réserve de 220 mm de pluie. Avec une pluviosité annuelle de 453 mm, ces chiffres sont respectivement 110 cm et 100 mm.
- On notera au passage la relative concordance avec les chiffres de réserve d'eau climatiquement définie au paragraphe précédent, qui sont légèrement inférieurs.
- il n'y a aucun drainage vertical à grande profondeur dans ces conditions de couverture végétale en équilibre, adaptée aux réserves en eau du sol qu'elle consomme en totalité annuellement. Les possibilités de drainage n'apparaissent que sous culture ; à fortiori elles apparaîtraient sous dénudation.
- Le profil étudié présente des caractères de lessivage rapidement décroissants jusqu'à 70-80 cm et l'auteur conclut qu'il y a concordance entre cette différenciation et les effets potentiels du régime hydrique actuel, seuls les 20 cm superficiels étant soumis à un lessivage probable exclusif, rapidement décroissant en-dessous.

Le climat de DILBINI étant comparable à celui du sud de la région étudiée, on a ici une sorte de limite supérieure des effets probables du climat sur sol comparable, dont les caractères dominants sont :

- faible profondeur du régime hydrique
- capacité de lessivage probablement modeste
- absence de drainage sous couverture végétale en équilibre avec le sol et le climat.

Seuls des sols plus perméables et à plus faible rétention volumique (matériaux éoliens, arènes grossières, horizons lessivés hérités profonds), des sols recevant des apports d'eau latéraux superficiels ou internes, ou des sols soumis à une dégradation de couvert végétal, pourraient avoir un pédoclimat plus humide, un régime hydrique plus profond et drainer vers une nappe.

III. Climat et érosion

1. Erosion hydrique

La carte du danger d'érosion en Afrique au sud du Sahara de F. FOURNIER (1962) situe la zone étudiée dans la classe d'une érosion normale supérieure à $2.000 \text{ T/km}^2/\text{an}$. C'est une valeur forte, qui correspondrait à une ablation annuelle d'une tranche superficielle de sol uniformément répartie d'une épaisseur de l'ordre de 1 mm.

Cette carte exprime le danger d'érosion en fonction de ses deux facteurs prépondérants :

- climat (hauteur et distribution des pluies), le coefficient intégrant l'influence du climat sur le couvert végétal et à un moindre degré sur la nature des sols ;
- relief (hauteur moyenne et massivité).

Mais cette carte n'indique également que des valeurs moyennes et par défaut ; car elle a été établie à partir d'une étude en fonction du climat et du relief, de la dégradation spécifique des bassins fluviaux, mesurée par leurs transports solides et excluant donc les déplacements n'atteignant pas le lit des cours d'eau.

Les cartes pédologiques expriment bien l'importance régionale des phénomènes d'érosion qui constituent le processus majeur d'évolution de tous les sols peu évolués d'érosion, extrêmement abondants ; par ailleurs, la présence d'associations de sols peu évolués d'érosion et d'apport souligne l'importance des déplacements locaux dans lesquels les produits de l'érosion ne sont pas évacués par le réseau hydrographique.

L'importance de l'érosion hydrique semble en outre accrue du fait de déformations tectoniques récentes s'appliquant à des complexes sols-végétation hérités de climats plus humides et en état d'équilibre hystérétique, instable. Cette érosion hydrique se présente sur le terrain sous les formes très fréquentes de ruissellement en nappe, érosion en nappe ravinante, ravines en réseau parfois très dense...

2. Erosion éolienne

Les actions éoliennes actuelles sont rares et limitées ; elles ne se manifestent qu'après une utilisation abusive et une dégradation superficielle des sols sableux.

En revanche, les actions éoliennes anciennes sont à l'origine des nombreuses accumulations dans les diverses parties du massif, et elles témoignent ainsi de plusieurs phases climatiques anciennes plus arides que le climat actuel.

LES ROCHES-MERES - LE MODELE LES MATÉRIAUX ORIGINELS DES SOLS

I. Les principales formations géologiques

Dans la région étudiée, le Massif du Ouaddaï se définit géologiquement par :

- la dominance des formations granitiques et métamorphiques, avec quelques roches intrusives et volcaniques,
- la faible extension des formations sédimentaires de couverture, qui sont principalement gréseuses et d'âge paléozoïque ou tertiaire.

En suivant l'histoire géologique de ce massif (GSELL et SONET - 1960, SONET - 1963), on distingue successivement les formations suivantes (figure 5) :

1. Le socle antécambrien

Il représente près de 80 % de la surface étudiée. C'est un ensemble métamorphique plissé et migmatisé, traversé par diverses intrusions.

Les **granites** et **migmatites** dominent très largement. Les granites concordants d'anatexie se localisent à l'ouest d'une ligne ABOU GOULEM - GUEREDA, alors que les migmatites — qui sont principalement des embréchites — se situent plutôt à l'est de cette ligne (figure 5). Le type de granite le plus répandu est calco-alcalin à biotite, à grain moyen ou porphyroïde. Comme pour les migmatites, on observe dans les divers granites des termes plus basiques à biotite et amphibole, puis des granodiorites où dominent les plagioclases.

Les formations **peu ou pas migmatitiques** sont peu abondantes et dispersées. Ce sont des quartzites micacés, des micaschistes et des amphibolites.

Les **roches éruptives** sont des granites intrusifs souvent alcalins et des microdiorites.

Ces formations du socle peuvent présenter une «altération particulière», (GSELL et SONET - 1960) visible en bordure des plateaux d'ADRE et de GELAFARA. Les feldspaths sont remarquablement conservés, les hydroxydes se concentrent localement, et des silicifications peuvent se manifester au sommet de cette formation.

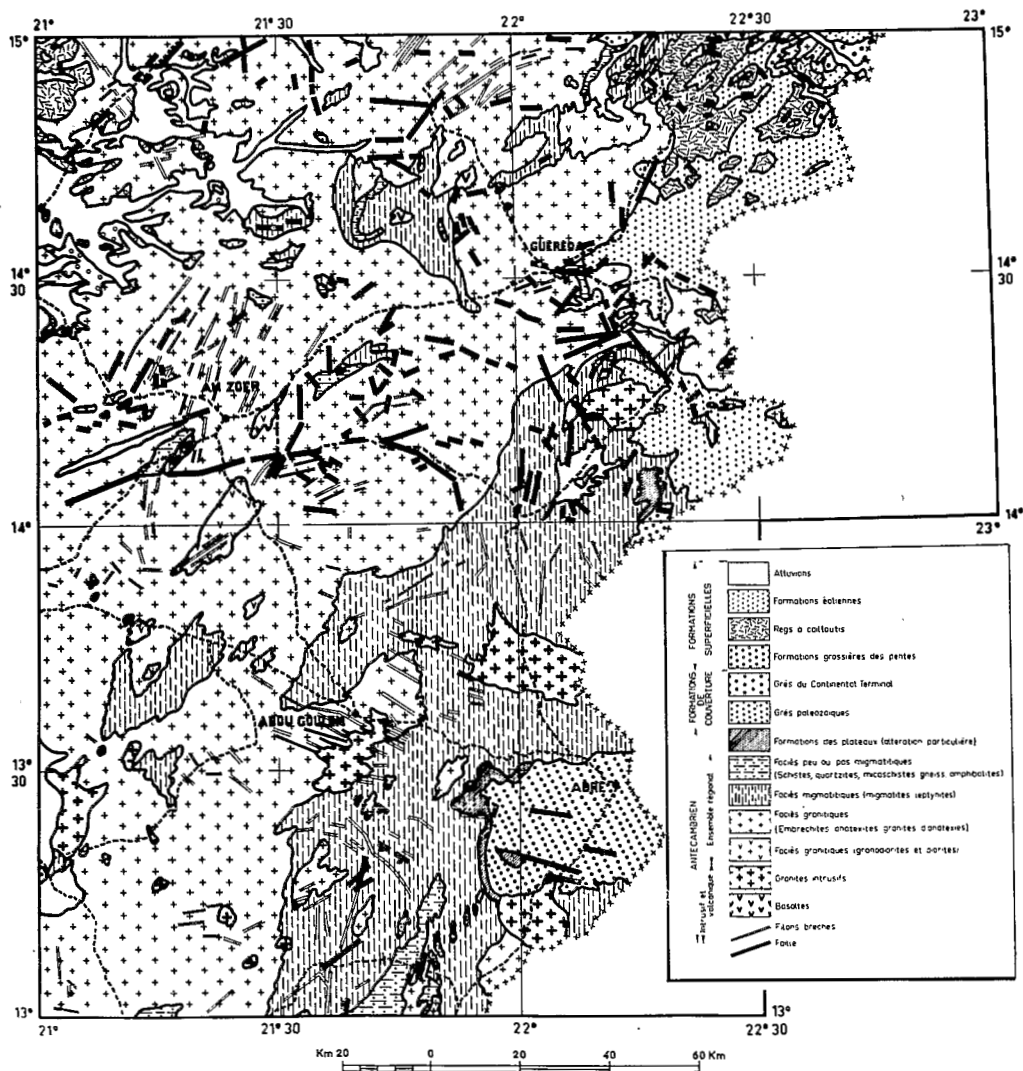


Figure 5

LES PRINCIPALES FORMATIONS GEOLOGIQUES
 d'après la carte géologique de reconnaissance au 1/500.000,
 feuilles ADRÉ (GSELL.J. et SONET.J., 1960) et NIÉRÉ (SONET.J., 1963)

2. La couverture gréseuse

En discordance sur le socle, la couverture gréseuse est :

- soit **paléozoïque** et constitue les plateaux d'ADRE, de GELAFARA et du sud d'IRIBA, avec des grès grossiers et psammitiques.
- soit tertiaire, **Continental Terminal**, sous forme de petits lambeaux à l'extrémité nord-est de la feuille GUEREDA.

Les grès paléozoïques seraient antérieurs à une première phase de tectonique cassante, qui aurait soulevé et effondré par compartiments, ce Massif du Ouaddaï.

3. Les venues basaltiques

Les affleurements de **basalte à olivine** sont très limités. Ils correspondent à deux types d'âge différent :

- les coulées basaltiques du sud d'IRIBA, qui seraient liées à la première phase de tectonique cassante ;
- les appareils volcaniques au nord-ouest de GUEREDA, qui seraient d'âge Quaternaire ancien.

4. Les formations superficielles récentes

Ce sont principalement :

- des **alluvions**, qui marquent vers l'ouest le début de la cuvette sédimentaire tchadienne ;
- des **formations éoliennes**, dénommées «goz», qui sont les plus abondantes dans la partie est de la feuille GUEREDA. Elles forment soit des cordons dunaires orientés nord-est/sud-ouest, soit des voiles éoliens recouvrant les regs à cailloutis, soit des dunes d'obstacles souvent liées à des décharges alluviales sableuses. Elles correspondraient à deux phases éoliennes durant le Quaternaire.

II. Le modelé

Le Massif du Ouaddaï constitue la bordure orientale de la Cuvette tchadienne. Il sépare le bassin du Lac Tchad du bassin du Nil.

Le modelé de cette région est principalement d'origine tectonique. Il s'agit d'une zone surélevée en bordure de la Cuvette tchadienne qui s'est affaissée. Le modelé marque les étapes de cette tectonique : le massif est en effet composé d'un étagement de plusieurs surfaces entre 500 et 1200 mètres d'altitude (planches 6 et 7). Chacune de ces surfaces est un vaste ensemble de glacis plus ou moins disséqués, qui présente une pente générale et qui est dominé par des massifs ou des inselbergs résiduels. Les surfaces les plus élevées sont les plus anciennes.

D'est en ouest s'étagent ainsi les principales unités morphologiques suivantes :

1. Le haut glacis, ou haut plateau, se situe de 900 à 1.200 mètres d'altitude, sur la bordure orientale de cette région. Il présente une inclinaison vers l'est, qui a orienté son réseau hydrographique. Celui-ci (O. KADJA) contourne en effet tout le Massif du Ouaddaï et rejoindra le Bahr AZOUM puis le fleuve CHARI, alors que le réseau des autres surfaces du Ouaddaï est orienté vers l'ouest et alimente principalement le fleuve BATHA.

Ce haut plateau, très peu disséqué, est composé de longs glacis qui sont dominés par des massifs résiduels :

- soit granitiques, au nord de GUEREDA ;
- soit gréseux et de forme tabulaire, principalement aux environs d'ADRE.

Ces témoins gréseux du paléozoïque ou du Continental Terminal, peuvent être coiffés par des cuirasses ferrugineuses qui présentent des traces d'abrasion éolienne.

Des accumulations éoliennes plus ou moins épaisses et localisées, recouvrent ces glacis, en particulier au nord-est de GUEREDA. Comme sur les autres surfaces du Ouaddaï, ces accumulations sont de deux types :

- des ensablements de versant, constituant un voile éolien plus ou moins épais. Des éléments d'arène granitique sont mélangés aux sables éoliens ;
- des cordons ou des dunes d'obstacle généralement localisés et liés à des décharges sableuses alluviales. Ces sables éoliens sont plus récents.

Mais sur les longs glacis faiblement remaniés, les formations superficielles sont différenciées en toposéquences pédologiques. De la partie supérieure à la base de ces versants se succèdent alors, toujours dans le même ordre, des sols ferrugineux tropicaux lessivés, des solonetz solodisés puis des vertisols. Par rapport aux conditions climatiques actuelles, ces toposéquences — de même que les cuirasses ferrugineuses de sommet — doivent être considérées comme anciennes.

2. Le moyen glacis se situe approximativement vers 800 à 900 mètres d'altitude. Cette surface ancienne est encore très plane, peu disséquée, mais toujours dominée par des reliefs résiduels. Elle se caractérise par :

- des ensablements moins fréquents que sur les autres surfaces.
- la dominance d'un seul type de pédogénèse ancienne ; celle de sols ferrugineux tropicaux lessivés.

3. Le glacis inférieur et le piedmont d'érosion raccordent, entre 600 et 800 mètres, les plateaux du Ouaddaï à la Cuvette tchadienne. A l'opposé des précédentes surfaces, celle-ci est très disséquée. Son modelé est rajeuni par l'enfoncement et l'érosion du réseau hydrographique. Par dissection d'anciens glacis, le modelé est formé de collines avec des affleurements de roches, des éboulis ou pavages,

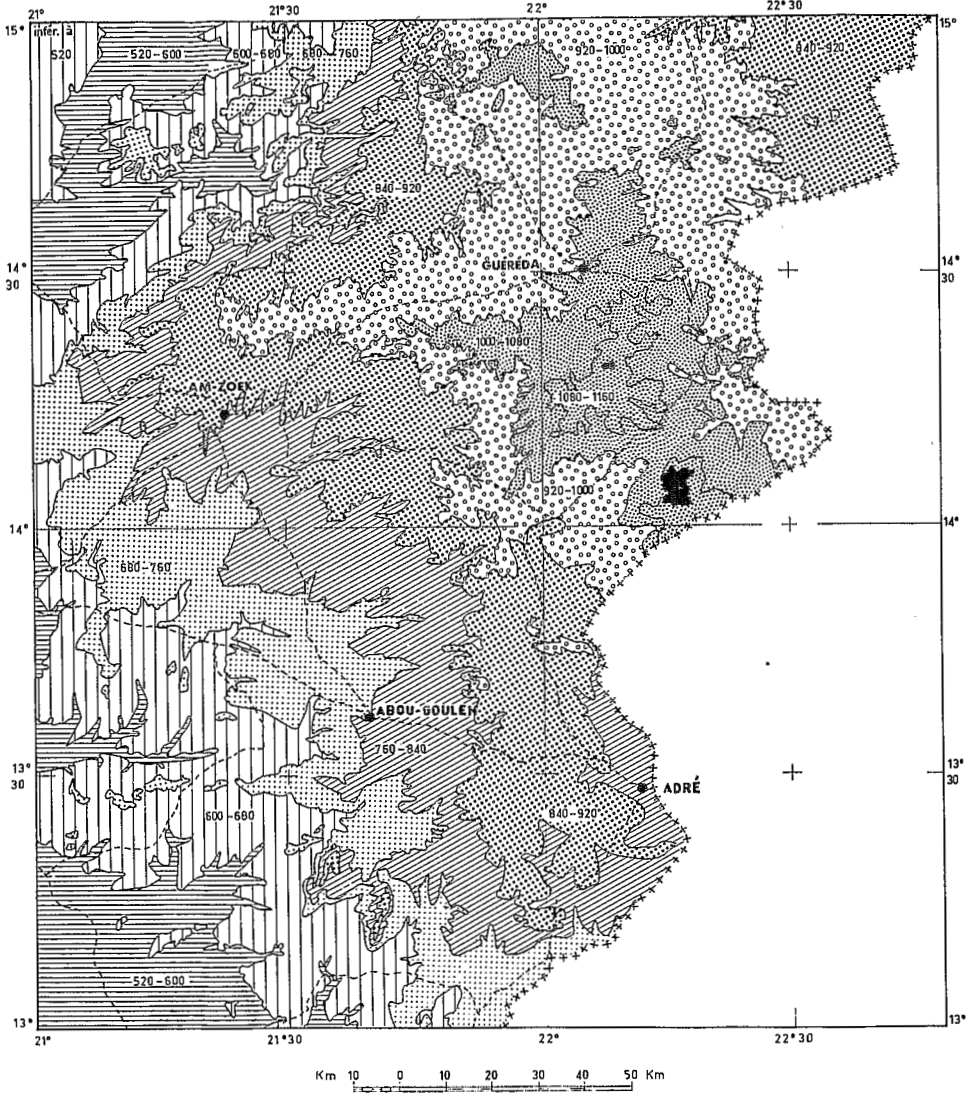


Figure 6
LE RELIEF DU MASSIF DU OUADDAÏ
 (Altitudes en mètres)

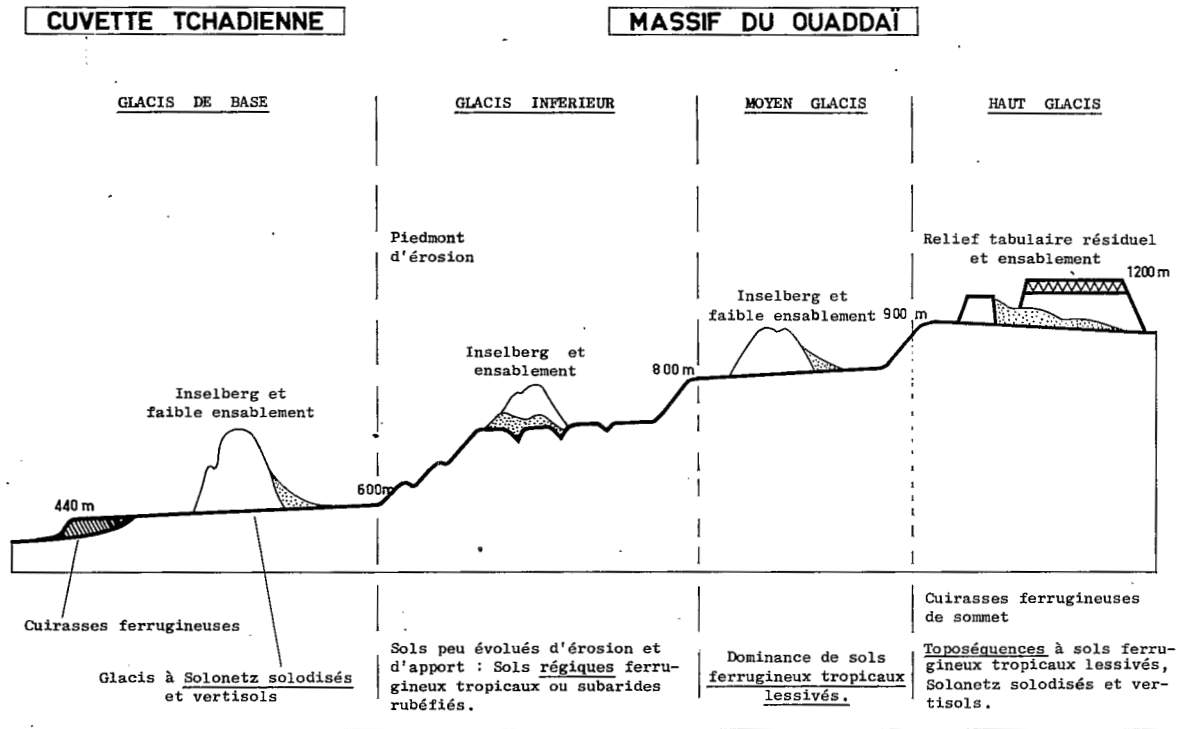


Figure 7

UNITES MORPHOLOGIQUES ET PEDOLOGIQUES DU OUADDAÏ

des dépôts colluviaux ou alluviaux, des dunes tronquées. Le maximum de dissection s'observe dans la rupture de pente au piedmont du massif. Cette région, où le façonnement du modelé est actuel, se caractérise par la faible épaisseur et la variété des formations superficielles. Ce sont en effet les processus actuels de pédogénèse, d'érosion et d'apport qui s'exercent soit sur d'anciens profils pédologiques, soit sur des roches ou des produits remaniés. Les sols peu évolués d'érosion et d'apport (sols régiques) sont dominants, en association avec des lithosols.

4. Le glacis de base de la Cuvette tchadienne. Vers 600 mètres d'altitude, au pied du Massif du Ouaddaï, débute la Cuvette tchadienne par un très long glacis à faible pente. Ce glacis est formé sur roche granitique et les zones alluviales qui le sillonnent d'est en ouest se différencient à peine de la surface du glacis. Des inselbergs avec leurs ensablements émergent de ces surfaces planes, surtout en bordure du massif. Des solonetz solodisés et des vertisols dominent sur ce glacis qui, vers l'ouest, peut se terminer vers 440 mètres d'altitude par des cuirasses ferrugineuses (BOCQUIER, AUDRY, BARBERY - 1968).

Des relations apparaissent donc entre la distribution des sols et les différentes unités morphologiques du Ouaddaï. La distribution des sols est liée à l'âge et à la composition géologique de chacune des surfaces de ce massif. Et suivant leur âge, ces surfaces ont subi différentes variations climatiques, dont le maximum d'aridité est représenté par les accumulations éoliennes, et le maximum d'humidité par les cuirasses ferrugineuses.

III. Les matériaux originels

Dans chacune des unités morphologiques, la distribution des sols peut être aussi diversifiée par la variété des roches-mères ou des matériaux originels. Sur le haut glacis, par exemple, où dominent sur les roches granitiques les anciennes toposéquences à sols lessivés, solonetz solodisés et vertisols, les affleurements de grès ou les accumulations éoliennes donnent naissance à des sols ferrugineux peu lessivés, et sur les roches basaltiques se développent des sols bruns subarides plus ou moins tirsifiés.

Ainsi, l'on peut distinguer six catégories principales de matériaux originels et les caractériser par :

- leur texture, à l'aide de diagrammes triangulaires
- leur capacité d'échange rapportée aux taux d'argile, afin de donner une indication sur la composition minéralogique de leur fraction argileuse.

1. Produits dérivés de granite (Figures 9 et 10, A et B)

Ces matériaux originels, de très loin les plus importants géographiquement (cf. figure 8), présentent également la plus grande diversité de différenciations pédologiques.

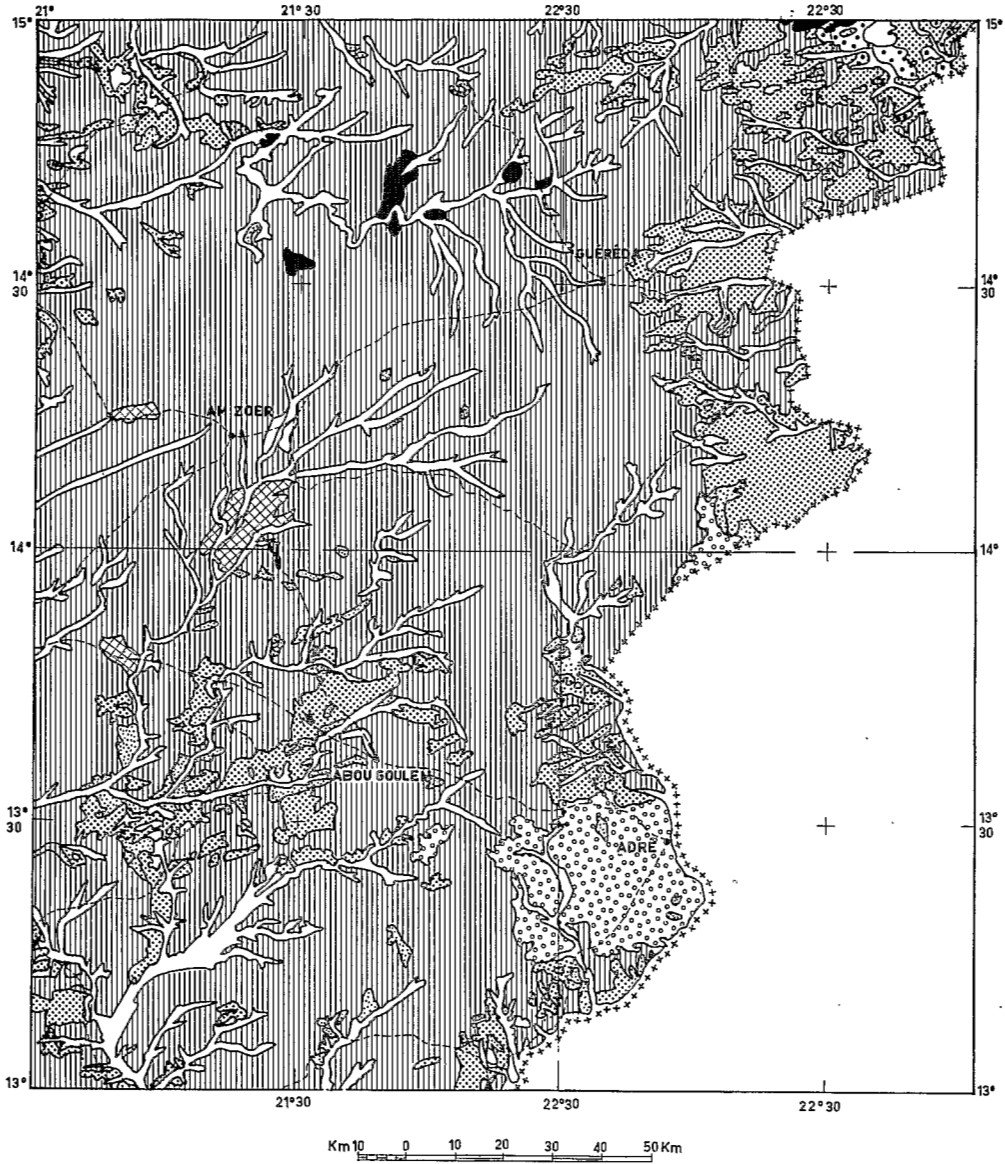


Figure 8
LES MATERIAUX ORIGINELS

LEGENDE



Granites s.l. et produits en dérivant



Diorites, granodiorites et produits en dérivant



Basaltes et produits en dérivant



Grès paléozoïques ; sables rouges et sables plus ou moins argileux dérivés de ces grès ; placages sablo-argileux sur dalle gréseuse localement cuirassée ou sur «formation des plateaux» («altération particulière» de l'antécambrien)



Grès du Continental Terminal, parfois cuirassés ; sables plus ou moins argileux issus de ces grès



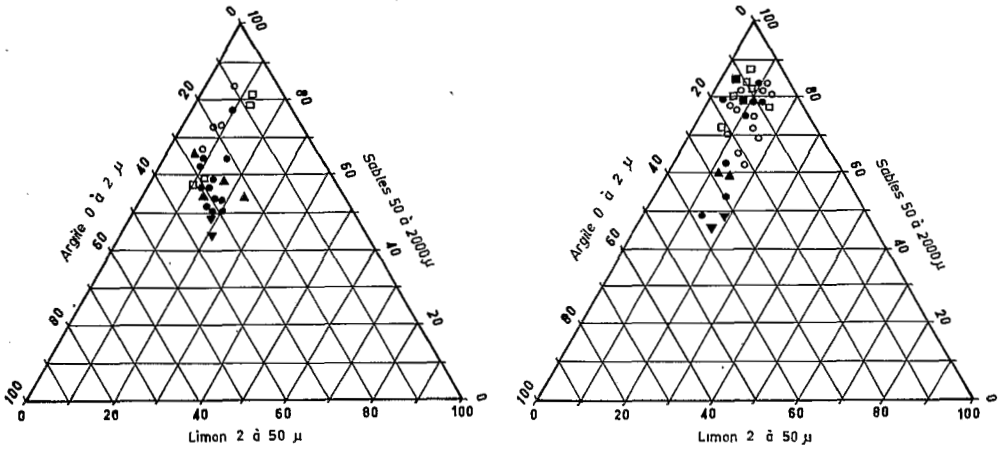
Sables éoliens à éléments d'arène granitique



Sable éoliens : cordons longitudinaux et dunes d'obstacle



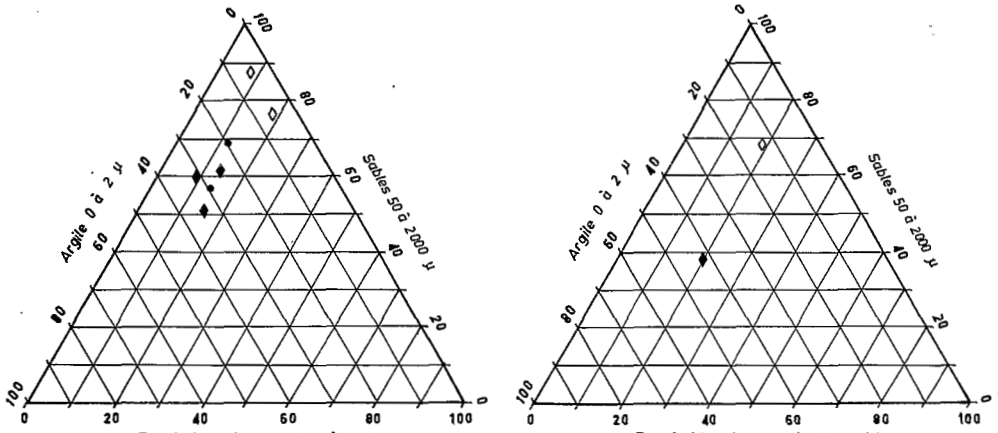
Alluvions



A. Produits d'altération issus de granite

B. Produits remaniés dérivés de granite

- Sols peu évolués, régiques ; faciès brun tirsifié et rubéfié
- Sols peu évolués, régiques ; faciès ferrugineux tropical
- Sols ferrugineux tropicaux, peu lessivés, évolués
- Sols ferrugineux tropicaux, lessivés avec ou sans concrétions
- ▲ Solonetz solodisés
- ▼ Vertisols



C. Produits issus de diorite

D. Produits issus de basalte

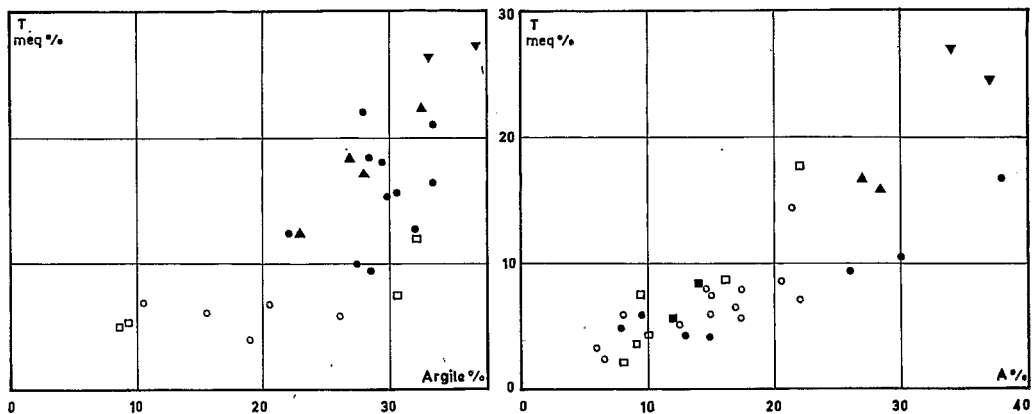
Diorite altérée :

- Sols P.E, régiques, faciès brun tirsifié et rubéfié
 - ◆ Sols bruns subarides tirsifiés
- Diorite désagrégée :
- ◇ Sols bruns subarides

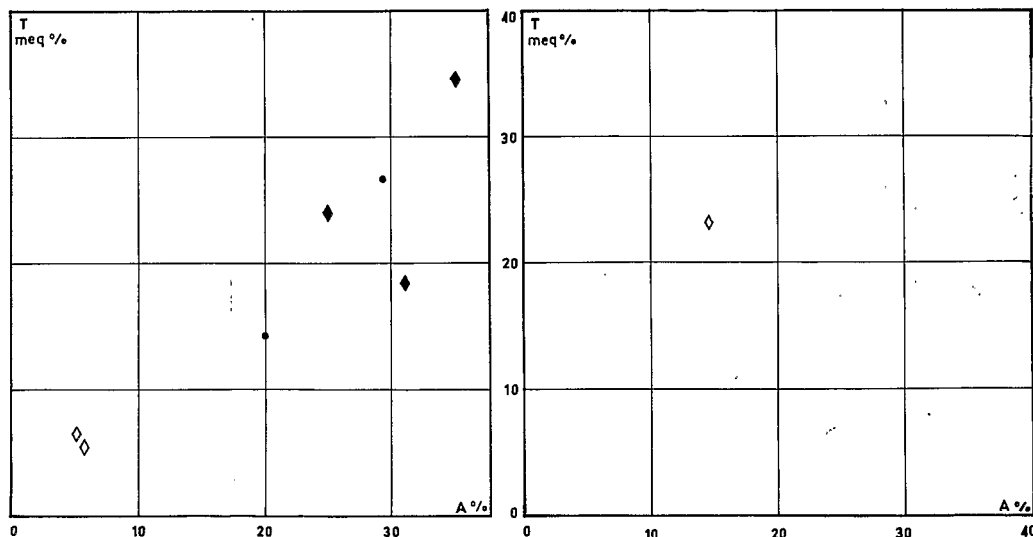
Basalte altéré :

- ◆ Sol brun subaride tirsifié
- Basalte désagrégé :
- ◇ Sol brun subaride

Figure 9
MATERIAUX ORIGINAUX :
Texture

A. Produits d'altération issus de graniteB. Produits remaniés dérivés de granite

(pour la signification des figurés : cf. planche n° 9 ci-contre)

C. Produits issus de dioriteD. Produits issus de basalte

(pour la signification des figurés : cf. planche n° 9 ci-contre)

Figure 10

MATERIAUX ORIGINAUX :
 Capacité d'échange rapportée à la fraction argile

Qu'il s'agisse de produits d'altération issus de granite (A) ou de produits remaniés dérivés de granite (B) (incluant les anciens sols lessivés identifiables, généralement tronqués), on note que les contours des nuages de points représentatifs sur les diagrammes sont pratiquement superposables (planche 9, A et B) :

- les taux d'argile varient de 5 à 40 %
- les taux de limon de 4-5 à 20-25 %
- les taux de sables de 40-45 à près de 90 %.

Les produits d'altération sont par contre plus fréquemment argileux (20 cas à plus de 25 % d'argile sur un total de 27) ; c'est l'inverse pour les matériaux remaniés (25 cas à moins de 25 % d'argile sur un total de 32).

La fréquence relative des différenciations de sols observées varie en conséquence car on observe une très nette relation entre taux d'argile et différenciation pédologique. Ainsi, pour l'ensemble des matériaux originels dérivés de granite (A + B) et par type de sols, cette relation peut être exprimée par le tableau suivant :

Tableau 4

| | Nombre de cas | | | Taux d'argile % | |
|---|---------------|---------|---------|-----------------|----------|
| | Total | s/mat.A | s/mat.B | Médian | Extrêmes |
| Sols ferrugineux tropicaux lessivés | 10 | 4 | 6 | 10 | 8 - 32 |
| Sols ferrugineux tropicaux peu lessivés | 2 | 0 | 2 | 13 | 12 - 14 |
| Sols peu évolués, régiques, faciès ferrugineux tropical | 18 | 5 | 13 | 16 | 6 - 26 |
| Solonetz solodisés | 6 | 4 | 2 | 28 | 23 - 33 |
| Sols peu évolués, régiques, faciès brun tirsifié et rubéfié | 18 | 11 | 7 | 28,5 | 8 - 38 |
| Vertisols | 4 | 2 | 2 | 36 | 33 - 37 |

La capacité d'échange de l'argile varie parallèlement : les graphiques A et B de la figure 10 font apparaître :

- en-dessous de 25 % d'argile, une relation linéaire entre capacité d'échange et taux d'argile, situant la capacité d'échange de l'argile entre 40 et 45 mé/100 g. Ceci conduit à l'interprétation que dans les sols ferrugineux tropicaux ou apparentés, la fraction argileuse serait un mélange probable de kaolinite, d'illite et de montmorillonite possible.
- entre 25 et 40 %, T/A prend des valeurs nettement plus élevées et on observe un nuage de points organisé autour d'un point médian de coordonnées $T = 18,5$; $A = 30$ %, soit une argile de capacité d'échange égale à 60 mé/100 g ; les extrêmes étant 35 - 100 mé/100 g.

Ceci tend à prouver que le type d'argile des matériaux dérivés de granite, sur lesquels sont différenciés des sols régiques bruns tirsifiés et rubéfiés, des solonetz solodisés et des vertisols, est à plus nette prédominance de montmorillonite.

2. Matériaux dérivés de roches basiques : diorite et basalte (Figures 9 et 10, C et D)

Là encore on observe deux types de matériaux originels : des produits d'altération et des produits de désagrégation plus ou moins remaniés.

Les premiers sont différenciés soit en sols bruns tirsifiées, soit en sols peu évolués d'érosion régiques, faciès brun tirsifié et rubéfié là où l'érosion est active ; dans les deux cas les produits d'altération sont assez fortement argileux (20 à près de 45 % d'argile), plus semble-t-il dans le cas du basalte. La capacité d'échange de l'argile dans ces produits d'altération est comprise entre 60 et 95 mé/100 g ; soit donc une proportion importante de type montmorillonitique.

Les quelques cas observés de produits de désagrégation sont nettement plus sableux (5 à 15 % d'argile seulement) ; il est remarquable que même dans ces cas, la capacité d'échange de l'argile reste élevée, voisine de 100 mé/100 g.

3. Matériaux dérivés des grès paléozoïques (Figures 11 et 12, E et F)

a) Sables et sables argileux dérivés des grès paléozoïques (E)

Les termes les plus sableux (5 à 20 % d'argile), le plus généralement observés, sont différenciés en sols ferrugineux tropicaux peu lessivés ; la capacité d'échange de l'argile de ces matériaux originels varie de 20 à 35 mé/100 g.

Des solonetz solodisés peuvent également exister sur ces matériaux et dans une gamme de teneur en argile assez large : 20 à 40 %. Dans les deux cas observés, et même avec 20 % d'argile seulement, cette argile présente une capacité d'échange alors plus élevée, voisine de 55 mé/100 g.

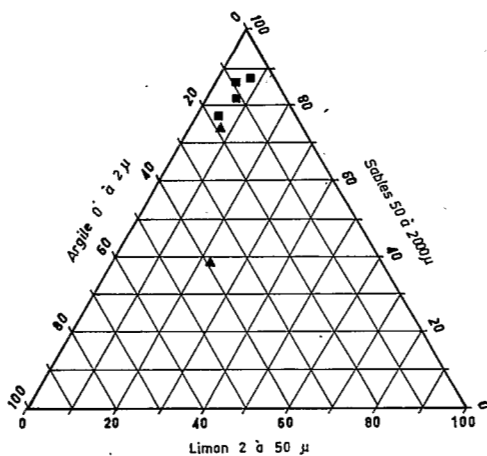
b) Sables rouges des plateaux gréseux paléozoïques (F)

Différenciés en sols ferrugineux tropicaux peu lessivés, ces sables sont bien triés et les teneurs en argile sont comprises entre 4 et 10 % ; celles en limon entre 2 et 6 %.

La capacité d'échange de l'argile, pour autant qu'elle puisse être valablement estimée sur des valeurs aussi faibles, serait le plus souvent comprise entre 10 et 20 mé/100 g, la plus faible de celles observées.

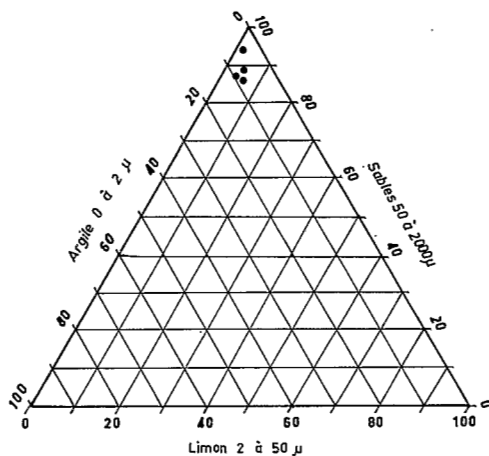
4. Sables éoliens à éléments d'arènes granitiques ou passant à des arènes granitiques (planches 11 et 12, G)

Essentiellement différenciés en sols ferrugineux tropicaux peu lessivés, le remaniement éolien modeste qui les a mis en place ne leur confère qu'un tri également modéré, et la variabilité de ce type de matériau reste relativement grande : les taux d'argile sont compris entre 5 et 15 % ; les taux de limon généralement inférieurs à 7 %, peuvent atteindre 11 %.



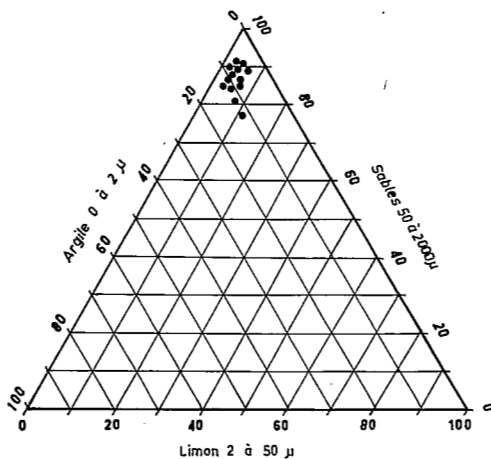
E. Sables et sables argileux dérivés de grès paléozoïques

- Sols ferrugineux tropicaux, peu lessivés, évolués
- ▲ Solonetz solodisés



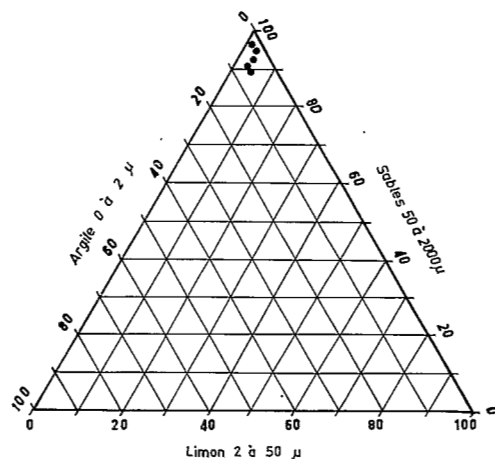
F. Sables rouges des plateaux gréseux paléozoïques

- Sols ferrugineux tropicaux, peu lessivés, peu évolués



G. Sables éoliens à éléments d'arène granitique

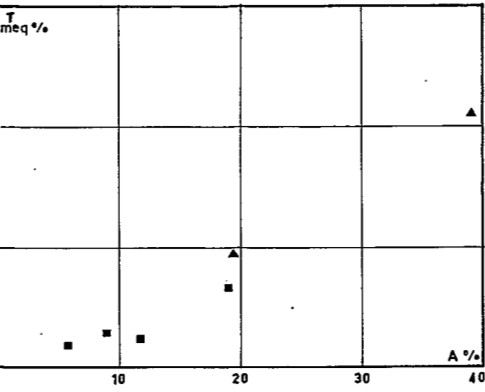
- Sols ferrugineux tropicaux, peu lessivés, évolués.



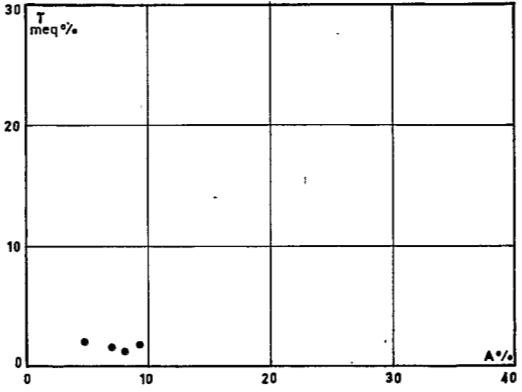
H. Sables éoliens des cordons longitudinaux et dunes d'obstacle

- Sols ferrugineux tropicaux, peu lessivés, peu évolués.

Figure 11
MATERIAUX ORIGINELS :
Texture (suite)

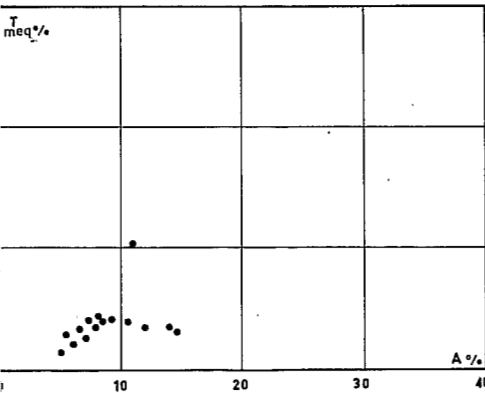


E. Sables et sables argileux dérivés de grès paléozoïques

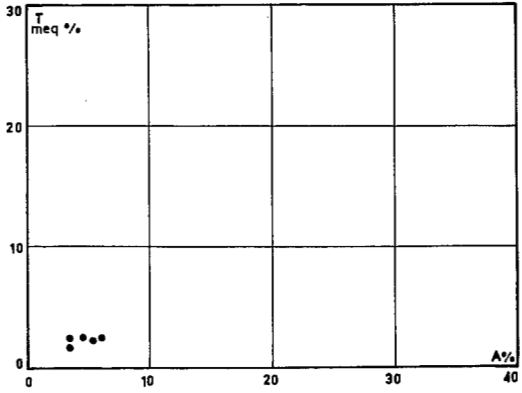


F. Sables rouges des plateaux gréseux paléozoïques

(pour la signification des figurés : cf. planche n° 11 ci-contre)

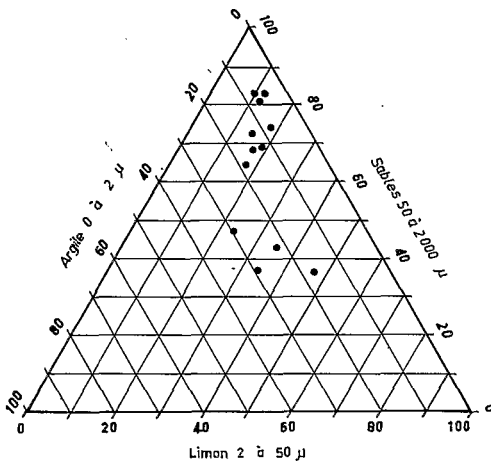


G. Sables éoliens à éléments d'arène granitique



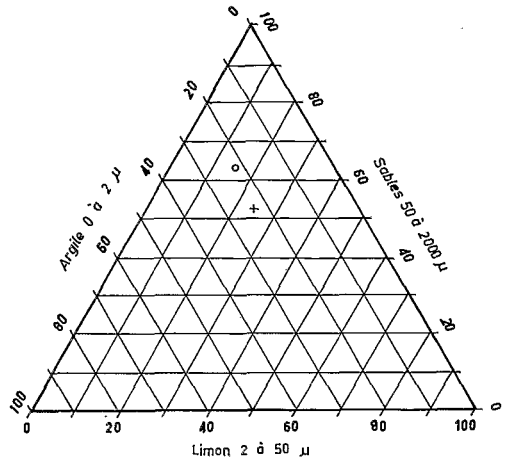
H. Sables éoliens des cordons longitudinaux et dunes d'obstacle

Figure 12
MATERIAUX ORIGINAUX
 Capacité d'échange rapportée à la fraction argile (suite)



I. Alluvions diverses

(Sols peu évolués d'apport :
horizons superficiels)



J. Autres matériaux originels

- o Produits dérivés de grès du Continental Terminal
- + "Altération particulière" du socle (antécambrien)

Figure 13
MATERIAUX ORIGINELS :
Texture (fin)

La capacité d'échange de l'argile présente les valeurs extrêmes de 20 - 60 mé/100 g. (et même dans un cas exceptionnel 95) ; le rapport des valeurs médianes de T et A donnant 45 mé/100 g.

5. Sables éoliens des cordons longitudinaux et dunes d'obstacles (Figures 11 et 12, H)

Différenciés en sols ferrugineux tropicaux peu lessivés, peu évolués, il s'agit de sables éoliens vrais, bien triés, contenant généralement des feldspaths et micas issus des granites.

Les taux d'argile sont inférieurs à 7 %, ceux de limon inférieurs à 5 %. Les valeurs de la capacité d'échange de l'argile sont entachées d'une forte erreur relative, les T mesurées oscillant autour de 1 mé/100 g. de sol, soit rapportées aux taux d'argile, 20 à 70 mé/100 g. d'argile.

6. Alluvions (Figure 13, I)

Elles sont de texture extrêmement variable, généralement stratifiées ; dans le diagramme I, ont été représentées les textures des horizons de surface qui déterminent, non exclusivement mais de façon prépondérante, les caractères des sols.

Cette représentation permet de se faire une idée de la diversité des textures possibles et souligne leur caractère original vis-à-vis des autres matériaux originels : on observe des taux de limon relativement élevés et croissant en même temps que les taux d'argile ; on a approximativement : $\text{Limon/Argile} = 1,5$.

7. Sont enfin représentés, sous le titre "Autres matériaux originels" (diagramme J, figure 13), un échantillon de produits dérivés des grès du Continental Terminal et un échantillon de l'altération particulière du socle. On ne peut certes prétendre ainsi à une représentativité de ces matériaux par ailleurs peu important géographiquement (cf. figure 8). Il convient de souligner cependant qu'avec des taux d'argile relativement élevés (respectivement 22 et 23 %), on observe une capacité d'échange de l'argile de 25 mé/100 g dans le premier et 17 dans le second ; soit donc une prédominance kaolinitique dans l'un et l'autre, confirmant les observations de terrain.



LA VÉGÉTATION

Dans ce Massif du Ouaddaï, deux provinces botaniques se relaient du sud vers le nord :

- au sud d'ADRE, celle des forêts claires et des savanes boisées soudanaises à combretacées.
- au nord, celle des fourrés et des steppes à mimosées.

Par ailleurs, l'altitude fait remonter vers le nord les aires d'espèces ou de formations végétales habituellement plus méridionales. L'on peut ainsi retrouver sur les surfaces les plus hautes des peuplements reliques (à *Burkea africana*) d'origine soudano-guinéenne. La végétation des surfaces hautes anciennes est donc à caractère plus humide et plus ancien et s'accorde ainsi avec la présence de paléosols sur ces surfaces.

Du point de vue floristique les principales variations sont :

- un appauvrissement général de la flore du sud vers le nord avec la diminution progressive de la pluviométrie ;
- le développement des mimosées vers le Nord ;
- l'introduction vers le nord-est d'espèces d'origine nilotique comme *Acacia nubica* et *Albizzia sericocephala*.

L'action de l'homme est actuellement faible sur la plupart des couverts végétaux. Seules les formations des «goz» (sols dunaires) et des plaines alluviales peuvent être profondément influencées par le défrichement et remplacées par des formations anthropiques.

Les principales formations végétales du Ouaddaï — qui peuvent être reliées assez étroitement aux unités pédologiques — sont les suivantes :

1. Les forêts claires reliques à *Burkea africana*

Elles sont localisées jusqu'au nord d'ADRE, sur des ensembles épais à relief ondulé. Les *Burkea africana*, d'origine soudano-guinéennes, constituent de superbes forêts claires reliques en association avec *Stereospermum kunthianum* et *Combretum glutinosum*, avec *Albizzia sericocephala* en sous strate arbustive. Le tapis graminéen est principalement composé de *Ctenium elegans* et de *Loudetia*

hordeiformis. Sur ces sables dunaires, qui correspondent à des sols ferrugineux tropicaux non lessivés, les *Burkea africana* ne se reproduiraient plus actuellement d'après GRONDARD (1964).

2. Les savanes boisées soudaniennes à *Sclerocarya birrea*

Elles occupent les surfaces hautes anciennes, non disséquées par l'érosion, jusqu'à la latitude d'ADRE ; elles se relient aux toposéquences pédologiques anciennes et en particulier aux sols ferrugineux lessivés sur granite.

Leur composition floristique est très variée dans la strate abordée : *Sclerocarya (Poupartia) birrea*, *Sterculia setigera*, *Tamarindus indica*, *Acacia sieberiana*. Dans la strate arbustive : *Combretum glutinosum*, *Lanea fruticosa*, *Dalbergia melanoxylon*, *Commiphora africana*, *Dichrostachys glomerata*, *Ziziphus mauritiana*, *Grewia sp.*, *Boscia senegalensis*. La strate herbacée est représentée par des touffes de *Cymbopogon sp.* et *Pennisetum pedicellatum*.

Vers le nord et sur les mêmes paléosols lessivés, cette formation se contracte, prend l'aspect d'une « brousse tigrée » dans laquelle apparaissent des espaces dénudés, alors que se développent les espèces buissonnantes plus sahéliennes. Avec l'apparition d'*Acacia mellifera*, *Commiphora pedunculata*, *Acacia senegal*, et la disparition des espèces arborées soudaniennes, cette formation contractée passera progressivement vers le nord à la formation en fourrés à *Acacia mellifera*.

3. Les savanes arbustives des jachères

Elles sont situées sur les formations sableuses (« goz ») des plateaux gréseux et des voiles éoliens recouvrant les versants granitiques. Les sols sont du type ferrugineux tropical peu lessivés et les cultures pratiquées sont celles du mil et de l'arachide. La plus caractéristique de ces formations anthropiques est la savane arbustive à *Guiera senegalensis*, à laquelle s'ajoutent *Combretum glutinosum* et *Lanea fruticosa*. La végétation herbacée est haute et dense : elle est à base de *Loudetia hordeiformis*, *Ctenium elegans*, *Eragrostis tremula*, *Cenchrus biflorus*, *Cassia obovata*.

Lorsque le voile éolien est peu épais sur les versants granitiques, cette savane se peuple de *Faidherbia albida*, alors que diminue le tapis graminéen.

Vers le Nord, se substituent au *Guiera* : *Boscia senegalensis*, *Bauhinia reticulata*, *Callotropis procera*, puis *Acacia senegal* (gommier).

4. Les bois armés à mimosées

Lorsqu'ils sont denses et à *Acacia seyal* dominants, ils correspondent aux vertisols des bas de glacis granitiques ou des alluvions argileuses. Vers le sud, ces bois d'*Acacia seyal* sont dominés par quelques *Anogeissus leiocarpus* et comprennent également une strate arbustive à *Dichrostachys glomerata*. Vers le nord ils se transforment en fourrés et s'adjoignent *Acacia mellifera* et même *Acacia nubica*, alors que le tapis graminéen à *Schoenefeldia gracilis* devient irrégulier.

Les bois armés peuvent être également très clairsemés. Il en est ainsi sur les solonetz solodisés où apparaissent des touffes de *Lannea humilis*. Mais cette formation très claire et irrégulière est surtout développée sur les bas glacis à solonetz solodisés de la Cuvette tchadienne, avec *Balanites aegyptiaca* puis *Acacia flava* vers le nord. Les deux espèces les plus caractéristiques du tapis herbacé discontinu sont *Schoenefeldia gracilis* et *Aristida funiculata*.

5. Les fourrés à *Commiphora africana*

Si les *Commiphora* s'observent en peuplement monospécifique sur les éboulis granitiques, ils constituent par ailleurs une formation en fourrés lorsqu'ils sont associés à *Dalbergia melanoxydon*, *Albizia sericocephala*, *Acacia senegal*, *Balanites aegyptiaca*, *Bauhinia rufescens*, *Boscia senegalensis*. Le tapis graminéen est irrégulier et très varié avec : *Eragrostis tremula*, *Dactyloctenium sp.*, *Cymbopogon sp.*, *Aristida sp.*, *Cenchrus pieurii*. Cette formation est fréquente sur les surfaces récentes disséquées par l'érosion et occupées par des sols régiques généralement à faciès ferrugineux.

6. Les fourrés à *Acacia mellifera*

Ils se situent plus au nord que les précédents. Ils correspondent alors, soit à des surfaces anciennes à sols lessivés et relaient les formations boisées contractées, soit à des surfaces récentes disséquées à sols régiques bruns et rubéfiés. Ils occupent, dans ce dernier cas, de très grandes surfaces sur les feuilles AM ZOER - GUEREDA. Ce sont les «fourrés montagnards» caractéristiques du nord Ouaddaï et composés de : *Acacia mellifera*, *Dichrostachys glomerata*, *Boscia senegalensis*, *Commiphora africana*, *Balanites aegyptiaca*, *Albizia sericocephala*, *Acacia seyal*, *Acacia senegal*, *Acacia scorpioïdes var. adstringens*, *Capparis decidua*. La strate herbacée comprend fréquemment *Aristida mutabilis*, *Schoenefeldia gracilis*, *Microchloa indica*, *Borreria sp.*, *Zornia sp.*, *Blepharis linariifolia*.

7. Les steppes à gommiers

Ce sont les formations les plus fréquentes au nord sur les ensablements épais à sols ferrugineux tropicaux peu lessivés. Ces steppes sont clairsemées ; *Acacia senegal* est associé à *Acacia laeta* et vers le nord à *Acacia raddiana*, *Maerua crassifolia*, *Leptadenia pyrotechnica*. Dans la strate herbacée dominant souvent *Aristida pallida* et divers *Cenchrus*.

8. Les galeries forestières

Elles sont fréquentes dans les régions méridionales où elles s'étendent aux flats alluviaux avec dominance d'*Anogeissus leiocarpus*. En revanche, vers le nord, elles ne sont plus représentées, en bordure des ouaddis, que par quelques grands arbres isolés : *Faidherbia albida*, *Tamarindus indica*, *Acacia scorpioïdes var. nilotica*, *Acacia sieberiana*.

Ainsi les formations végétales du Ouaddaï sont particulièrement variées

du point de vue floristique et physionomique. D'autre part, leurs relations avec les formations pédologiques sont dans l'ensemble suffisamment étroites pour que la reconnaissance du couvert végétal puisse fournir une première indication sur la nature des sols.

DEUXIEME PARTIE

ÉTUDE DES SOLS

CARACTERES GÉNÉRAUX DE LA PÉDOGENESE

Diversité et âge des sols du Ouaddaï

La diversité des sols du Ouaddaï, correspond non seulement à la diversité des matériaux originels (granite, grès, basalte, sables éoliens, alluvions), mais encore à l'âge différent des surfaces étagées du modelé. La durée d'évolution des sols a en effet été variable sur ces surfaces successives et les profils pédologiques peuvent en conséquence être plus ou moins complexes suivant les influences plus ou moins anciennes qu'ils ont subies. Sur les roches granitiques qui affleurent sur chacune des surfaces du modelé, on peut étudier les caractères de sols d'âge différent et distinguer ainsi trois principaux types de profils pédologiques :

- des **profils anciens**, qui ont conservé la plupart des caractères issus d'une pédogénèse ancienne. Ces profils reliques sont des paléosols. Ils sont généralement profonds et peuvent posséder encore la totalité de leurs horizons. Souvent la végétation naturelle qui leur est associée, montre ainsi un certain déphasage par rapport aux conditions actuelles, et comme les profils, correspond à des conditions climatiques anciennes plus humides.
- des **profils polygénétiques**, qui montrent des caractères issus de plusieurs pédogénèses successives correspondant à des conditions externes différentes (climat ou tectonique). Ces profils, qui témoignent de plusieurs phases d'évolution pédologique, sont également appelés « polyphasés ».
- des **profils actuels**, dans lesquels seule la différenciation pédologique actuelle est décelable. Ils sont dans ce cas peu évolués et peu profonds.

Caractère des pédogénèses anciennes

Dans la région étudiée on n'observe pas de traces d'une pédogénèse ferrallitique. Bien que supposée très ancienne, l'« altération particulière » du socle au contact des grès paléozoïques n'est pas une altération ferrallitique puisque de nombreux minéraux primaires ont été conservés.

Le type de pédogénèse le plus ancien est celui d'un **cuirassement ferrugineux** qui n'affecte que quelques rares surfaces résiduelles, les plus élevées et les plus anciennes, comme les plateaux d'ADRE et de GELAFARA.

Mais la couverture pédologique ancienne la plus répandue correspond à la formation de **toposéquences**, qui se différencient actuellement, dans d'autres lieux, sous des climats plus humides que celui du Ouaddaï. Ces toposéquences se caractérisent principalement par :

- la succession ordonnée des sols suivants (qui résulte d'une différenciation pédologique latérale) : sol ferrugineux tropical lessivé à l'amont, sol lessivé hydromorphe, solonetz solodisé, vertisol à l'aval.
- l'association minéralogique dans les horizons B d'accumulation, de la kaolinite à l'amont et de la montmorillonite à l'aval.

Ces séquences pédogéochimiques sont différenciées aussi bien à l'échelle de certains versants qu'à l'échelle d'une des surfaces du massif. Il en est ainsi pour la surface haute (900-1200 m.), où les sols lessivés dominent à l'amont et les sols d'accumulation à montmorillonite (solonetz et vertisols) à l'aval. On pourrait également supposer que la dominance des sols ferrugineux lessivés sur la seconde surface (800-900 m.) correspond à l'amont kaolinitique d'une ancienne surface plus vaste, dont l'aval montmorillonitique (à sols régiques subarides) serait la troisième surface actuelle (600-800 m.), immédiatement inférieure.

De plus, on constate, sur une même surface, que la composition de ces anciennes toposéquences a varié suivant le gradient climatique : il y a en effet développement des termes humides (lessivés à kaolinite) au Sud, et dominance au Nord des termes plus arides (à montmorillonite).

Cependant, ces toposéquences anciennes ne sont pas intégralement conservées et leur reconnaissance est parfois difficile. Certaines parties peuvent être érodées ; d'autres parties masquées par des dépôts récents éoliens ou fluviaux. On remarque que ce sont les termes arides (solonetz et vertisol), qui sont les mieux conservés car ils sont plus proches du climat subaride actuel. En revanche, les termes lessivés amont accusent un plus fort déphasage et ont été souvent l'objet de remaniements hydriques ou éoliens, qui ont pu les transformer en sols polyphasés. Ces anciennes toposéquences peuvent ainsi comprendre des sols polyphasés à leur amont et des paléosols à leur aval.

Formation des sols polyphasés

Les sols polyphasés ou polygénétiques sont plus fréquents que les paléosols et ils sont plus abondants sur les surfaces récentes. Dans leurs profils, des caractères actuels sont superposés à des caractères anciens. La base des profils est ancienne et la partie supérieure récente. Ceci correspond à l'assèchement du climat aux périodes récentes du Quaternaire : les pédogenèses récentes, d'énergie climatique moindre, sont moins profondes, moins intenses et elles se superposent ainsi aux pédogenèses anciennes. Cette superposition de plusieurs phases d'évolution dans un profil se réalise avec ou sans actions de remaniements.

Le remaniement des profils est le cas le plus fréquent dans le Ouaddaï. Les profils polyphasés présentent en effet très souvent des traces de remaniement

par l'eau ou le vent. Marqués principalement par ces actions d'érosion et de sédimentation, ces profils accusent une faible évolution pédologique actuelle (sols peu évolués d'érosion et d'apport). Les actions d'érosion et de sédimentation, qui opèrent le démantèlement de l'ancienne couverture pédologique, s'exercent plus sur les termes éluviaux des toposéquences que sur les termes aval d'accumulation argileuse, en raison de la sensibilité des horizons éluviaux sableux peu agrégés. Les profils de sols ferrugineux tropicaux lessivés en particulier, sont tronqués au niveau de l'ancien horizon B argileux, qui peut rester en surface (sol peu évolué d'érosion), ou être recouvert par des apports sédimentaires (sol peu évolué d'érosion et d'apport) ; dans ce dernier cas, la limite entre l'horizon B et l'apport sédimentaire est :

— soit brutale : il y a discontinuité lithologique souvent soulignée par une concentration d'éléments grossiers. La nature de l'apport colluvial ou alluvial est différente ou non du substrat.

— soit progressive : il n'y a pas de discontinuité lithologique mais mélange progressif de matériaux. C'est le cas très fréquent des glacis granitiques à voile éolien, où les profils montrent de la base au sommet l'adjonction progressive de sables éoliens aux éléments sableux d'arène granitique.

Le polyphasage sans remaniement semble beaucoup moins fréquent et plus difficile à mettre en évidence. Il correspond à une pédogénèse récente ou actuelle qui s'exerce dans les seuls horizons supérieurs d'anciens profils généralement lessivés, non affectés par l'érosion.

Caractères de la pédogénèse actuelle

Les pédogénèses récentes et actuelle présentent dans le Ouaddaï trois caractères principaux :

— Elles sont généralement dominées par les actions superficielles d'érosion et de sédimentation. Celles-ci sont liées pour les pédogénèses récentes à la tectonique de soulèvement du massif, et pour la pédogénèse actuelle au climat subaride et à la faiblesse de la couverture végétale qui en dépend. Les sols qui en dérivent sont dénommés, lorsqu'ils sont meubles : sols peu évolués d'érosion et d'apport ou plus brièvement : sols régiques.

S'ajoutent généralement à ces actions strictement mécaniques, des remaniements d'origine biologique très actifs, surtout dans le cas d'horizons superficiels sableux.

— Ces pédogénèses sont ensuite peu profondes à cause de ces actions superficielles et de la faible profondeur des régimes hydriques définis par le climat actuel. La base des profils peut ainsi ne pas être affectée par la pédogénèse actuelle et lorsqu'elle est d'origine pédologique, elle peut conserver des caractères pédologiques anciens (profils polyphasés).

— Enfin, la différenciation pédologique actuelle étant faible et peu profonde, ce sont généralement les caractères des matériaux originels qui s'imposent

ou orientent fortement la différenciation. Ainsi deux faciès principaux de sols régiques apparaissent liés à l'origine et à la nature de leurs matériaux originels :

- le faciès ferrugineux tropical correspond à des matériaux (ou à d'anciens horizons pédologiques) dont la richesse chimique est faible et dont les minéraux argileux sont à dominance de kaolinite.
- les faciès rubéfiés, brun et brun tirsifié, correspondent plutôt à des matériaux plus riches en bases et en argiles du type 2/1.

Age et classification des sols

Les sols sont de préférence classés et cartographiés d'après leur différenciation actuelle qui explique leurs principales propriétés et leur évolution possible. De ce fait, les sols polyphasés — qui présentent des signes de différenciations actuelle et ancienne — ne sont pas distingués à un niveau supérieur des sols peu évolués qui ne sont affectés que par la pédogénèse actuelle. La classification ne rend donc pas compte directement de l'histoire et de l'évolution des sols complexes, sinon en précisant la nature du matériau originel.

En revanche, certains sols anciens ou paléosols apparaissent très peu affectés par la dynamique actuelle, et par hystérésis conservent les caractères de leur ancienne différenciation. Ils sont alors classés et cartographiés d'après les seuls caractères de leur ancienne pédogénèse.

Ceci explique les fréquentes associations dans ces cartes de sols très évolués et anciens, avec des sols peu évolués dont l'histoire peut être ou non complexe et ancienne.

Age et distribution des sols

Les sols ont, dans leur ensemble, des âges différents suivant l'âge des différentes surfaces étagées du Ouaddaï. Cependant, sur une même surface, l'âge des sols varie aussi relativement suivant deux cas principaux :

— sur une même surface la mise en place de certains matériaux a été successive dans le temps. Ainsi les voiles éoliens sont postérieurs aux glacis qu'ils recouvrent, mais ils sont eux-mêmes antérieurs aux alluvions récentes.

— la différenciation pédologique latérale sur les glacis conduit dans les toposéquences à ce que les termes aval d'accumulation soient plus anciens que les termes éluviaux situés à l'amont. Vertisols et solonetz solodisés peuvent donc être antérieurs aux sols lessivés situés à leur amont, au pied des massifs résiduels,

Ainsi, sur chaque surface, les termes les plus élevés — par superposition sédimentaire ou par différenciation dans le paysage — sont les plus récents, alors que les surfaces les plus hautes sont les plus anciennes.

CLASSIFICATION ET LÉGENDE

Dans ses grandes lignes la classification utilisée est celle de G. AUBERT (1963 publiée 1964). Cependant, pour les sols peu évolués d'érosion et d'apport, dénommés « Régiques » avec GAVAUD (1965), on a distingué plusieurs faciès (ferugineux, rubéfié, brun, brun tirsifié) suivant l'orientation que semble prendre leur pédogénèse.

Dans la légende pédologique — reprise ci-dessous — on constate que la plupart des unités cartographiées correspondent à des associations de plusieurs types de sols, et sont définies, suivant la classification, par le type pédologique dominant dans l'association ou la toposéquence. Cette représentation est en fait imposée par l'échelle de la carte, mais elle permet — en indiquant les termes associés — d'évoquer les relations génétiques ou historiques entre les différents sols de ces toposéquences ou de ces associations.

LÉGENDE PÉDOLOGIQUE

SOLS MINÉRAUX BRUTS

Sols minéraux bruts d'origine non climatique

Sols minéraux bruts d'érosion

LITHOSOLS

Sur roches diverses

Barres rocheuses (microgranite, microdiorite, quartz)

Sols minéraux bruts d'apport

REGOSOLS dominants

Sur alluvions et proluvions de lits mineurs

SOLS PEU ÉVOLUÉS

Sols peu évolués d'origine non climatique

Sols peu évolués d'érosion

SOLS RÉGIQUES

Faciès rubéfiés et bruns tirsifiés

Association de faciès rubéfiés et bruns tirsifiés à des lithosols
Sur produits d'altération issus de granites et de diorites.

Faciès ferrugineux

Sur produits d'altération issus de granites

Association de faciès ferrugineux à des lithosols

Association de faciès ferrugineux, de faciès rubéfiés et bruns tirsifiés à des lithosols

Sur placage sablo-argileux sur dalle gréseuse localement cuirassée

Sols peu évolués d'érosion et d'apport

SOLS RÉGIQUES

Sur produits remaniés dérivés de granite : sols polyphasés de glaciés érodés

Association de faciès rubéfiés et bruns tirsifiés

Faciès ferrugineux

Association de faciès ferrugineux à des sols régiques rubéfiés et bruns tirsifiés

Sur sables et sables argileux dérivés de grès du Continental Terminal

Association de faciès ferrugineux à des sols régiques rubéfiés et bruns tirsifiés

Sols peu évolués d'apport

HYDROMORPHES A PSEUDOGLEY

Sur alluvions diverses

Associés à des sols bruns peu évolués (plus ou moins alcalisés) sur des alluvions et produits remaniés issus de granites.

Associés à des Solonetz solodisés sur des alluvions et produits remaniés issus de grès

Associés à des Solonetz solodisés hydromorphes et des Vertisols hydromorphes sur alluvions diverses

SOLS ISOHUMIQUES

Sols isohumiques à complexe saturé et à sesquioxydes individualisés

SOLS BRUNS SUBARIDES

Associés à des sols régiques isohumiques et à des lithosols, parfois à des vertisols

Sur produits issus de diorites ou de granites basiques

Sur produits issus de basaltes, amphibolites, pyroxénites

SOLS A SESQUIOXYDES FORTEMENT INDIVIDUALISES ET A HUMUS RAPIDEMENT DECOMPOSE

Sols ferrugineux tropicaux

Sols ferrugineux tropicaux non ou peu lessivés en argile

SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX NON LESSIVES, PEU EVOLUES

Sur sables éoliens des cordons longitudinaux et dunes d'obstacle
Toposéquence avec des sols ferrugineux peu lessivés à raies

SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX PEU LESSIVES, EVOLUES

Sans accumulation discontinue en raies
Sur sables rouges des plateaux gréseux paléozoïques

Avec accumulation discontinue en raies
Sur sables et sables argileux dérivés de grès paléozoïques
Toposéquence avec des sols lessivés et hydromorphes
Sur sables éoliens à éléments d'arène granitique
Toposéquence avec des sols lessivés et hydromorphes

SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX LESSIVES AVEC OU SANS CONCRETIONS

Sur produits d'altération issus de granite
Toposéquence avec des sols hydromorphes lessivés, des Solonetz solodisés, des Vertisols

Sur produits sablo-argileux issus de grès ou de granites
Sols à pseudogley de profondeur associés à des Solonetz solodisés

SOLS HALOMORPHES

Sols halomorphes à structure dégradée

Sols lessivés à argile dégradée

SOLONETZ SOLODISES LITHOMORPHES GENERALEMENT ERODES

Sur produits d'altération issus de granites
Solonetz solodisés dominants associés localement à des sols régiques rubéfiés et bruns tirsifiés
Associés à des sols régiques et des lithosols, et des sols ferrugineux lessivés
Associés à des sols régiques à faciès rubéfiés et bruns tirsifiés, et des lithosols

SOLONETZ SOLODISES HYDROMORPHES

Sur alluvions diverses
Associés à des Vertisols hydromorphes et des sols d'apport hydromorphes

VERTISOLS

Sur produits d'altération issus de granites

Associés à des Solonetz solodisés érodés, et à des sols régiques à faciès verticale et brun alcalisé.

ÉTUDE MONOGRAPHIQUE DES SOLS

I. LES SOLS MINÉRAUX BRUTS

Ils sont représentés par les affleurements rocheux des massifs résiduels et par des alluvions et proluvions non évoluées constituant les lits ou les décharges proluviales des oueds temporaires.

— Les premiers sont des lithosols d'érosion, d'origine non climatique. Ce sont les inselbergs ou les massifs résiduels, constitués de granite (Massif de KOU-DORMI), de micaschistes et quartzites (MARAONE, DJIBRANDING), de grès (ADRE, GELAFARA). Ces massifs résiduels, avec leurs dalles et leurs amoncellements de blocs, sont distribués sur toutes les surfaces. Mais des affleurements fréquents et de petite dimension apparaissent surtout sur la surface de 600 à 800 m., la plus disséquée par l'érosion. Ces lithosols sont alors associés à divers sols peu évolués d'érosion.

Ainsi, les lithosols ne représentent que 4,7 % de la superficie totale des cartes en unité pure; mais l'ensemble de leur surface est estimé à 19 % environ de ce total en tenant compte des associations cartographiques dans lesquelles ils entrent et représentent une proportion relative approximative de 25 à 35 % suivant les cas.

— Les seconds sont des régosols d'apport alluvial. Ils correspondent aux alluvions et proluvions actuelles situées dans les lits mineurs. Leur distribution est échelonnée dans le cours des oueds temporaires et se limite aux zones actuelles de reprise d'érosion ou immédiatement à leur aval. Les surfaces ainsi cartographiées ne représentent que 0,3 % du total des cartes. Ces matériaux alluviaux sont sableux et principalement composés de quartz, de feldspaths potassiques et de micas. Ils sont appelés sols minéraux bruts et régosols car ils sont meubles, non affectés par une différenciation pédologique et ils présentent des structures sédimentaires de dépôt.

II. LES SOLS PEU ÉVOLUÉS

Ils occupent une surface estimée à un peu plus de 49 % du total de ces deux cartes et représentent ainsi une des unités les plus caractéristiques du Ouaddaï. Ce sont des sols peu évolués d'origine non climatique. Ils n'ont pas en effet une

distribution zonale climatique dans le massif, mais sont plutôt localisés dans les zones de reprise d'érosion et en particulier sur la surface de 600 à 800 m., la plus disséquée par l'érosion. Leur origine est donc vraisemblablement tectonique et liée au soulèvement et à l'érosion de certaines parties du massif. Cependant le climat subaride actuel, par son contraste saisonnier, l'intensité de ses précipitations et la faiblesse du couvert végétal qui lui est liée, entretient sinon détermine lui-même, pour une certaine part, ces actions superficielles d'érosion et d'apport.

On a divisé les sols peu évolués en deux catégories, suivant que prédominent les actions d'érosion ou bien d'apport :

- pour les sols régiques, ce sont les actions d'érosion (avec ou sans apport) ;
- pour les sols alluviaux peu évolués, fréquemment hydromorphes, ce sont les phénomènes d'apport.

1. Les sols régiques

Ils présentent, dans leur ensemble, deux caractères généraux :

- ils sont peu profonds : la roche-mère cohérente se situe le plus souvent à moins d'un mètre de profondeur ;
- leur différenciation en horizons est faible, principalement exprimée par un horizon superficiel humifère (profil de type AC), qui surmonte des produits remaniés ou des horizons anciens érodés.

Les traces de remaniement sont visibles dans ces profils qui sont simplement érodés : sols régiques d'érosion, ou érodés avec des phénomènes d'apport : sols régiques d'érosion et d'apport. L'empreinte humifère se manifeste donc soit sur un matériau érodé dans le premier cas, soit sur un matériau d'apport dans le second.

Ce sont les matériaux originels qui — avec l'intensité des actions superficielles actuelles — orientent la différenciation de ces sols peu évolués, et conduisent à les classer suivant deux tendances évolutives :

- faciès isohumique : rubéfié, brun, brun tirsifié
- faciès ferrugineux tropical.

Ces deux faciès paraissent en effet liés à la richesse en bases et à la nature minéralogique des argiles du matériau.

a) Les sols régiques à faciès rubéfié, brun et brun tirsifié

Ils correspondent à des matériaux riches en bases et à argile de type 2/1, qui proviennent :

- soit de produits remaniés issus de granite à amphibole, de diorite, d'amphibolite...
- soit d'anciens horizons d'accumulation (à montmorillonite et carbonates) des parties aval des toposéquences.

On constate que les faciès rubéfiés occupent les positions topographiques les plus élevées et les faciès bruns les positions les plus basses. D'autre part, les faciès bruns tirsifiés s'observent sur les matériaux les plus argileux.

Morphologie :

— *Faciès rubéfié : Profil ZOE 11 GUEREDA*

- 6 km de GUEREDA. Altitude 1.040 mètres.
- Surface ancienne disséquée. Position de sommet.
- Fourrés denses à *Acacia mellifera*, *Boscia senegalensis*, *Dichrostachys glomerata*, *Commiphora africana*.
- Granite à grain fin.
- Surface encroûtée avec sables déliés.

| | | |
|---------------|---|---|
| 0 - 14 cm | : | Horizon humifère légèrement rubéfié ; brun (8,75 YR 5/4 - 7,5 YR 4/4) ; sableux légèrement argileux ; polyédrique moyen ; peu dur ; poreux, passage distinct et régulier à : |
| 14 - 30 cm | : | Horizon rubéfié encore humifère ; brun vif marbré (7,5 YR 4/5 - 6,25 YR 4/4) ; argilo-sableux ; polyédrique fin ; peu dur ; poreux ; passage distinct et ondulé à : |
| 30 - 48 cm | : | Horizon brun foncé (10 YR 4/3 - 7,5 YR 4/4) ; argilo-sableux ; polyédrique moyen ; très dur ; assez poreux ; passage tranché et ondulé à : |
| 48 - 60 cm | : | Horizon graveleux à feldspaths tachés et matrice argilo-sableuse brun-jaune foncé (10 YR 4/4) ; polyédrique très fin ; peu dur ; assez poreux ; carbonaté dans la masse ; passage brutal, irrégulier et même interrompu à : |
| 60 - 90 cm... | : | Blocs de granite à muscovite à grain fin, avec croûte superficielle altérée de couleur rouille. |

Ce profil apparaît donc peu profond et marqué par une superposition de matériaux fin et graveleux. Sa différenciation consiste en une surcharge humifère, un gradient de rubéfaction vers le sommet et une légère carbonatation en profondeur. D'autres profils s'en distinguent principalement par trois caractères :

- l'absence de carbonatation (AD 128 Bir Sale - ZOE 236)
- un durcissement superficiel et une structure plus grossière (AD 42 Id el Gara - ZOE 30 Biltine)
- la présence de concrétions manganésifères à la base du profil (AD 129 Koundousa).

— *Faciès brun et brun tirsifié : Profil AD 43 Id el Gara*

- 3 km nord-ouest d'Id el Gara. Altitude 695 mètres.
- Surface récente disséquée. Position de mi-pente.
- Bois armé à *Acacia seyal*, *Acacia tortilis*, *Bauhinia rufescens*, *Dichrostachys glomerata*. Strate herbacée à touffes de *Cymbopogon* et plaques de *Schoenefeldia gracilis* et *Aristida mutabilis*.
- Diorite micacée.
- Surface encroûtée avec sables déliés et cailloux quartzeux.

- 0 - 10 cm : Horizon remanié faiblement humifère ; brun-jaune (10 YR 5,5/4 - 8,75 YR 4/4) avec lits humifères et sableux micacés ; massif à débit irrégulier ; peu dur ; compact ; passage brutal et légèrement ondulé à :
- 10 - 55 cm : Horizon faiblement humifère, brun (8,75 YR 5/4 - 7,5 YR 4/3) ; sableux légèrement argileux ; polyédrique fin ; peu dur ; faiblement poreux ; passage distinct légèrement ondulé à :
- 55 - 120 cm : Diorite micacée, désagrégée, avec marbrures rougeâtres et veines argileuses. Rares petites concrétions noires. Pas de carbonates.

Les autres profils observés présentent tous des carbonates à leur base. C'est à la base des profils que se développent également des marbrures (AD 19 Goudogin - ZOE 41 Am Zoer - ZOE 127 Troa Kébir) et des structures larges (AD 134 Alacha), qui — associées à une grande dureté — indiquent une alcanisation de profondeur ; plus rarement on observe, toujours à la base, des structures à faces de glissement (ZOE 41 Am Zoer).

Le faciès brun tirsifié est le plus fréquent et il s'observe dans les positions les plus basses. Il se définit par une texture plus argileuse et une structure superficielle de type prismatique à débit cubique (ZOE 16 Koulbous - ZOE 24 Biltine).

Dans l'un et l'autre faciès, brun et brun tirsifié, on peut avoir des petits recouvrements superficiels peu épais franchement sableux et discontinus (ZOE 26 Biltine).

Caractères analytiques :

Le profil textural des sols régiques à faciès rubéfié ou brun, présente toujours une augmentation d'argile avec la profondeur, qui est importante et rapide, et correspond à la superposition des matériaux. Pour vingt profils analysés les médianes des taux d'argile sont de 10 % en surface et de 28,5 % en profondeur.

Les taux de *matière organique* sont analogues dans les faciès rubéfiés (Médiane carbone $^{\circ}/_{\circ\circ}$: 3,3) et dans les faciès bruns (3,4), mais les valeurs minimales s'observent de préférence dans les premiers et les valeurs maximales dans les seconds. Les données disponibles de carbone $^{\circ}/_{\circ\circ}$ permettent aussi de comparer l'effet de la végétation naturelle (VN) à celui de la culture (C) :

Tableau 5 : Taux de C $^{\circ}/_{\circ\circ}$

| | | Extrêmes | Médiane |
|-------------------------------------|---------|-----------|---------|
| Pour 20 profils rubéfiés et bruns : | 13 (VN) | 1,8 - 7,4 | 3,4 |
| | 7 (C) | 1,3 - 3,8 | 2,6 |
| Pour 9 profils rubéfiés : | 6 (VN) | 1,8 - 4,5 | 3,6 |
| | 3 (C) | 1,3 - 3,8 | 2,0 |
| Pour 11 profils bruns : | 7 (VN) | 2,4 - 7,4 | 4,0 |
| | 4 (C) | 2,5 - 3,8 | 2,7 |

L'effet dégradant de la culture apparaît donc nettement et les sols à faciès rubéfiés semblent les plus sensibles.

Les valeurs de C/N sont assez dispersées, mais pour 20 profils étudiés, 16 valeurs sont comprises entre 8 et 11,8. La valeur médiane est de 9,0, ce qui indique de bonnes conditions d'humification. Les C/N des sols à faciès rubéfiés sont légèrement plus faibles (Md = 8,3), que ceux des sols à faciès bruns (Md = 9,7).

D'une façon générale les taux de matière organique superficielle sont en corrélation positive mais peu serrée avec les taux d'argile ; ceci est suffisant cependant pour que dans quelques cas où l'augmentation d'argile est particulièrement rapide avec la profondeur, le taux de matière organique vers 15-20 cm soit supérieur à celui de l'horizon superficiel, sans qu'il y ait dégradation de ce dernier par la culture.

Pour le *complexe absorbant*, la capacité d'échange présente en surface les valeurs suivantes (T en mé/100 g de sol) :

Tableau 6 : T en mé/100 g

| | Extrêmes | Médiane |
|-----------------------------------|-----------|---------|
| Pour 19 profils rubéfiés et bruns | 2,0 - 8,5 | 5,8 |
| Pour 9 profils rubéfiés | 3,7 - 7,3 | 6,2 |
| Pour 10 profils bruns | 2,0 - 8,5 | 4,8 |

Les coefficients de saturation (V en %) sont élevés :

Tableau 7 : V en %

| | Extrêmes | Médiane |
|-----------------------------------|----------|---------|
| Pour 19 profils rubéfiés et bruns | 57 - 100 | 89 |
| Pour 9 profils rubéfiés | 57 - 100 | 86 |
| Pour 10 profils bruns | 73 - 100 | 88 |

Les pH sont proches de la neutralité, légèrement plus acides pour les sols à faciès bruns, ainsi que pour les sols cultivés :

Tableau 8 : Réaction pH

| | Extrêmes | Médiane |
|---|-----------|---------|
| Pour 19 profils rubéfiés et bruns | 5,5 - 7,4 | 6,6 |
| Pour 9 profils rubéfiés | 6,3 - 7,4 | 6,7 |
| Pour 10 profils bruns | 5,5 - 6,9 | 6,4 |
| Pour 13 profils sous végétation naturelle | 5,5 - 7,4 | 6,7 |
| Pour 6 profils sous culture | 6,0 - 6,8 | 6,4 |

Mais avec la profondeur la capacité d'échange augmente et atteint une valeur médiane de 12 mé/100 g au niveau du matériau originel. Le pH et la saturation augmentent également ; les valeurs observées varient avec le faciès de différenciation et suivant la présence ou l'absence de carbonates et d'alcalinisation du complexe :

— Pour 9 profils de faciès rubéfiés :

. 3 profils ne sont ni carbonatés ni alcalinisés ; leur coefficient de saturation varie de 88 à 98 % et leur pH de 6,6 à 7,3.

. les 6 autres profils sont carbonatés et saturés : 4 d'entre eux ne sont pas alcalinisés (pH de 6,9 à 8,2) ; un est faiblement alcalinisé ($\text{Na/T} < 10\%$ — $\text{pH} = 7,2$) ; le dernier fortement alcalinisé ($\text{Na/T} > 10\%$ — $\text{pH} = 7,5$).

— Pour 9 profils de faciès bruns :

. tous sont saturés à leur base.

. 7 profils sur 9 sont carbonatés et alcalinisés. Pour 5 d'entre eux, Na/T est inférieur à 10 % et leur pH varie de 7,4 à 8,1. Pour 2 d'entre eux Na/T est supérieur à 10 % et leurs pH sont de 8,8 et 9,0.

En général, l'alcalinisation se manifeste tout à la base du profil, en-dessous des horizons carbonatés.

Pour l'ensemble des profils, le calcium est le cation dominant et le magnésium est le plus souvent inférieur de moitié au calcium. Les alcalins sont comparativement très peu représentés : le sodium n'atteint qu'exceptionnellement 10 % de $\text{Ca} + \text{Mg}$.

Les données de *stabilité structurale* sont peu nombreuses et ne permettent pas de comparer les deux faciès de différenciation. En surface la stabilité structurale est moyenne, parfois médiocre, avec des indices I_s de 0,6 à 2,6 et des perméabilités variant de 0,6 à 1,8 cm/H. En profondeur, elle devient médiocre et même très mauvaise dans les cas d'alcalinisation (jusqu'à $K = 0,1$ cm/H et $I_s = 6,3$).

Pour apprécier la *fertilité chimique* (NPK), on a utilisé les abaques de

fertilité de B. DABIN (1961) : compte tenu des taux d'azote faibles (extrêmes : 0,15 – 0,8 ‰ ; Md = 0,44), les taux de phosphore total (extrêmes : 0,15 – 1,5 ‰ ; Md = 0,40) indiquent un bon équilibre P/N. Mais les taux d'azote sont précisément faibles et le niveau de fertilité reste seulement moyen. Le potassium échangeable ne correspond aussi qu'à un niveau de fertilité potassique le plus souvent moyen, exceptionnellement bon (extrêmes : 0,1 - 0,6 mé/100 g ; Md = 0,2).

Conditions d'utilisation

Les caractères essentiels conditionnant l'utilisation de ces sols sont :

- leur fragilité : en-dehors même de toute exploitation c'est en effet l'érosion qui est le moteur de leur évolution actuelle ; sous peine d'accélérer ce processus, toute utilisation devra être extrêmement précautionneuse et faire appel à des techniques conservatoires strictes.

- leur profil hydrique défavorable, compte tenu des conditions climatiques : les taux d'argile élevés limitent la profondeur de pénétration de l'eau, tandis que les structures massives ou grossières facilitent les remontées capillaires et l'épuisement des réserves par évaporation directe.

Ce dernier caractère fait qu'en dehors de zones basses collectant naturellement des eaux supplémentaires, (localement des diguettes pourraient être construites en bas de pente), les possibilités de culture pluviales restent limitées à la moitié sud de la région, la plus arrosée, et à des plantes comme des sorghos à cycle le plus court possible ; et encore le rendement restera toujours soumis aux aléas des précipitations annuelles.

En dehors de ces possibilités restreintes, la protection du couvert végétal naturel dans les vastes zones de parcours que constituent ces sols, est indispensable pour éviter que l'érosion n'ait des conséquences accrues et irréversibles.

Seule, en fait, l'irrigation permettrait d'utiliser le potentiel de fertilité relativement intéressant de ces sols, mais les possibilités en sont pratiquement inexistantes ; et même sous irrigation, les propriétés physiques et les caractères structuraux limiteraient la gamme des plantes possibles, devant présenter un système racinaire à comportement rustique : outre les cultures jardinées (maraîchage et certains fruitiers), les céréales comme le sorgho, le maïs, seraient les plus indiquées ; la culture du blé devrait être possible.

Extension, cartographie

L'extension de ces sols régiques à faciès rubéfié et brun est principalement liée :

- aux phénomènes d'érosion et d'apport qui sont les plus développées sur la surface la plus basse du massif ;
- aux roches et matériaux à caractère basique.

Ils se situent donc de préférence sur les versants disséqués de la façade occidentale du massif, et sur les granites à amphibole et les diorites.

Leur extension est plus importante vers le nord du massif (AM ZOER, GUEREDA).

Ils sont cartographiés d'une part en unité pure (3,3 % seulement de la surface totale des cartes) ; ils entrent d'autre part et surtout dans plusieurs associations qui montrent un certain étagement :

— l'association à des faciès régiques ferrugineux (13 % des cartes en surface) correspond à des sols polyphasés de glacis érodés, qui se situent généralement sur les ruptures de pente séparant la surface basse disséquée de la surface moyenne à anciens sols ferrugineux tropicaux.

— l'association à des lithosols (18,1 % en surface) et l'association à des faciès régiques ferrugineux et à des lithosols (14,6 %), correspondent à la plus grande extension, sur la surface basse disséquée. Ces sols sont alors développés sur des produits remaniés de roches granitiques et non sur d'anciens horizons pédologiques.

— enfin l'association à des solonetz solodisés et à des lithosols (2,3 % en surface) se situe le plus à l'ouest, sur la surface la plus basse formant le glacis de la Cuvette tchadienne.

b) Les sols régiques à faciès ferrugineux

Ils sont liés à des matériaux ou à des horizons anciens à caractère acide et à dominance de kaolinite.

Morphologie : Profil AD 41 MATAGE

- 6 km nord-ouest de MATAGE (ABOU GOULEM - ADRE). Altitude : vers 730 mètres.
- Surface moyenne disséquée. Position de sommet.
- Savane arbustive en fourrés, à *Acacia senegal*, *Commiphora africana*, *Dalbergia melanoxylon*, *Bauhinia rufescens*. Strate herbacée irrégulière à *Cymbopogon*, *Schoenefeldia gracilis*, *Eragrostis tremula*.
- Ancien sol ferrugineux tropical lessivé, érodé, formé sur embréchite.
- Surface érodée en nappes ravinantes. Croûtes et sables déliés.

- 0 - 8 cm : Horizon très faiblement humifère érodé et remanié, brun-jaune (8,75 YR 5,5/4 - 7,5 YR 4/4) ; hétérogène avec lits sableux et humifères ; massif à tendance lamellaire ; peu cohérent ; compact ; passage très distinct et régulier à :
- 8 - 23 cm : Horizon très faiblement humifère, remanié, plus brun, également sableux ; tendance polyédrique ; peu cohérent ; faiblement poreux ; passage tranché à :

- 23 - 40 cm : Ancien horizon d'accumulation en raies, brun rougeâtre (7,5 YR 5,5/4 - 5 YR 4/4) ; sablo-argileux avec graviers ; polyédrique moyen ; peu dur ; bien poreux ; passage tranché souligné par une raie à :
- 40 - 75 cm : Ancien horizon d'accumulation diffuse et en raies, brun-rouge (6,25 YR 5/4 - 5 YR 4/4) ; sablo-argileux ; polyédrique moyen ; peu dur ; assez poreux ; passage distinct à :
- 75 - 120 cm : Brun-rouge à jaune-brun (8,75 YR 6/5 - 7,5 YR 4/4) légèrement taché ; sablo-argileux plus riche en graviers ; polyédrique fin ; très dur ; compact. Passage à la roche désagrégée et altérée.

Les autres profils observés diffèrent :

- soit par leur matériau originel qui varie des produits remaniés dérivés de granites leucocrates à d'anciens profils tronqués de sols ferrugineux lessivés ;
- soit par leur partie superficielle qui peut être constituée d'apports plus ou moins stratifiés ou bien de matériaux et horizons érodés.

Mais leur morphologie générale est assez constante avec des horizons supérieurs assez clairs, et se relie bien aux principales caractéristiques analytiques.

Caractères analytiques

Le *profil textural* : pour 18 profils analysés, le taux d'argile augmente progressivement de la surface (Md = 6 %) au matériau originel (Md = 16 %). A la base du profil, il est fréquent d'observer des niveaux grossiers, puis des produits d'altération du granite qui peuvent être plus argileux que le matériau originel.

Les teneurs en *matière organique* sont nettement moins élevées que dans les sols régiques rubéfiés et bruns (Md C $\frac{0}{100}$ de 2,5 au lieu de 3,4), mais les valeurs de C/N sont comparables (Md = 9,5 au lieu de 9,0).

Les variations dans les profils de la *capacité d'échange T* (mé/100 g), du *taux de saturation V* (%) et du *pH*, permettent de préciser leur caractère lessivé.

Tableau 9

| | T mé/100 g | | V % | | pH | |
|-------------------|------------|-----|----------|----|-----------|-----|
| | Extrêmes | Md | Extrêmes | Md | Extrêmes | Md |
| Surface | 2,3 - 6,1 | 3,1 | 30 - 100 | 74 | 4,5 - 7,0 | 5,6 |
| Matériau originel | 2,4 - 12,5 | 6,5 | 43 - 100 | 80 | 4,7 - 7,3 | 6,3 |

La capacité d'échange suit fidèlement la variation progressive du taux d'argile. Coefficient de saturation et pH varient dans le même sens et on observe :

- une augmentation des valeurs de V et de pH vers la base des profils ;

— dans 16 cas sur 18, une décroissance de V et pH en-dessous de l'horizon humifère, présentant un minimum parfois net, avant de croître vers la base du profil.

Cette désaturation subsuperficielle caractérise ce faciès ferrugineux. On note enfin que les taux de saturation des horizons humifères ont tendance à être plus élevés dans les sols du nord de la région, en conditions climatiques plus arides.

Les *bases échangeables* sont principalement du calcium et du magnésium. Le rapport Ca/Mg varie de 0,9 à 4,9 avec une médiane de 2,4 pour l'ensemble des horizons analysés. Les valeurs de potassium sont inférieures à 0,3 mé/100 g et celles de sodium généralement inférieures à 0,1 mé/100 g.

Pour 7 profils seulement, analysés du point de vue de la *stabilité structurale*, les valeurs observées *en surface* sont :

Tableau 10 : Stabilité structurale.

| | Extrêmes | Médiane |
|--------|-----------|---------|
| I_s | 0,3 - 1,7 | 1,5 |
| K cm/h | 0,4 - 1,1 | 0,8 |

soit une stabilité structurale quelquefois moyenne, mais généralement médiocre.

En ce qui concerne la *fertilité chimique* (NPK), les valeurs observées pour les horizons humifères sont :

Tableau 11 : Fertilité chimique

| | Extrêmes | Médiane |
|---------------------------------|-------------|---------|
| N ‰ | 0,17 - 0,78 | 0,28 |
| P ₂ O ₅ ‰ | 0,15 - 1,00 | 0,31 |
| K éch. mé/100 g | 0,1 - 0,3 | 0,15 |

Les teneurs en P₂O₅ sont toujours suffisantes compte tenu des taux d'azote, qui restent quant à eux limitants. Les taux de potassium échangeable correspondent également à un niveau de fertilité médiocre.

Conditions d'utilisation

Comme les sols à faciès brun tirsifié et rubéfié, ces sols régiques à faciès ferrugineux tropical sont avant tout des sols fragiles puisque leur évolution actuelle se fait sous l'effet prépondérant de l'érosion. D'où la même nécessité de précautions et de mesures conservatoires pour toute exploitation.

Ces sols sont certes chimiquement moins riches, mais n'en présentent pas moins un potentiel utilisable immédiatement : par rapport aux faciès précédemment étudiés, leur texture moins argileuse leur confère un **profil hydrique plus favorable, plus profond** ; ils sont en même temps plus faciles à travailler et plus facilement pénétrables par les systèmes racinaires.

Dans ces conditions, les sols les plus intéressants sont les plus profonds et ceux où l'augmentation d'argile en profondeur est la moins importante et surtout la moins rapide. Ils conviennent alors à l'arachide et aux mils *Pennisetum* : les aléas climatiques devenant facteur limitant entre 400 et 500 mm de précipitations annuelles totales.

Variations dans les autres familles

Seules les familles de sols développés sur produits issus de granite ont été considérées ici, alors que des sols régiques d'érosion à faciès ferrugineux tropical s'observent également sur **placage sablo-argileux sur dalle gréseuse** (localement cuirassée) et sur **sables et sables argileux dérivés de grès du Continental Terminal**.

Ces sols analogues, développés sur d'autres matériaux originels, présentent des extensions comparativement réduites (respectivement 0,3 % et 0,4 % de la surface des cartes) et n'ont pas été prélevés en nombre suffisant pour permettre une interprétation aussi détaillée. On doit simplement souligner que les caractères des profils ne diffèrent pas fondamentalement mais que la pauvreté des matériaux originels — plus strictement kaolinitiques et parfois très anciennement et profondément lessivés — se traduit par un niveau de réserves minérales faible à très faible et des profils souvent moins saturés.

Extension, cartographie

Ces sols régiques à faciès ferrugineux, bien qu'ils paraissent dominer dans les régions méridionales du massif, demeurent cependant le plus étroitement liés à la nature acide et kaolinitique de leur matériau originel.

Ils se présentent rarement en unité pure (0,6 % de la surface des cartes) et ont été cartographiés en association avec :

- des lithosols (3,4 % de la surface totale), sur les surfaces récentes déséquilibrées, à granite acide ;
- des lithosols et des sols régiques rubéfiés et bruns (14,6 % de la surface totale), ainsi que des lithosols et des solonetz solodisés (0,3 % en surface). Il s'agit alors soit d'association de ces sols en toposéquence avec les faciès ferrugineux à l'amont, soit de complexes cartographiques dûs aux variations lithologiques des granites.

L'association à des lithosols et des sols régiques rubéfiés et bruns est particulièrement développée sur la surface haute ancienne dans la région de **GÜEREDA**.

- des sols régiques rubéfiés et bruns (soit sur granite, soit sur grès du Continental Terminal avec respectivement 13 % et 0,4 % de la surface étudiée),

ainsi que des solonetz solodisés (0,8 %). Ces associations correspondent à des sols polyphasés d'anciens glaciers érodés.

Ainsi les sols régiques d'érosion et d'apport (faciès ferrugineux d'une part; rubéfiés et bruns d'autre part) représentent un ensemble d'une importance considérable puisqu'ils entrent dans des unités cartographiques recouvrant au total 60 % de la surface des cartes levées, tandis que les surfaces réelles qu'ils couvrent sont estimées respectivement à 16 % et 28 % de cette même superficie totale.

2. Les sols peu évolués d'apport, sur alluvions

Les alluvions sur lesquelles se développent ces sols peu évolués d'apport, présentent des variations latérales souvent rapides et pratiquement toujours des variations verticales brutales et variées (stratification). Les caractères de ces sols, très proches de leurs matériaux originels, sont donc très variables. Leur pédogénèse est marquée par une légère accumulation humifère superficielle et par l'hydromorphie — souvent absente dans les régions Nord — qui affecte différents niveaux du profil suivant les conditions locales de drainage externe et interne.

On observe également des sols peu évolués d'apport sur des glaciers formés par l'accumulation de produits issus de grès comme ceux du Continental Terminal (Profil : ZOE 217 MAYBA), mais leur extension est réduite dans une association qui ne couvre elle-même que 0,4 % de la surface totale des cartes.

Morphologie : Profil AD 89 ABOU GOULEM

- 3 km nord-ouest de MIELE SABANI.
- Plaine alluviale de l'Oued MINDJERNE.
- Galerie forestière à *Acacia sieberiana*, *Faidherbia albida*, *Ziziphus mauritiana*.
- Alluvions stratifiées, sableuses à argileuses.

| | | |
|-------------|---|--|
| 0 - 23 cm | : | Horizon humifère soumis à un engorgement temporaire, brun-gris (2,5 Y 5/2 - 10 YR 3/2), taché de rouille ; sablo-argileux ; polyédrique moyen à début de surstructure prismatique ; dur et compact ; passage tranché à : |
| 23 - 42 cm | : | Alluvion finement sableuse, très faiblement humifère ; gris-brun (2,5 Y 6/2 - 2,5 Y 4/2), taché diffusément ; riche en micas ; tendance polyédrique ; passage tranché à : |
| 42 - 85 cm | : | Alluvion argilo-limoneuse ; brun-gris (2,5 Y 5/2 - 2,5 Y 3/2) ; prismatique grossier très développé ; compact ; passage tranché à : |
| 85 - 100 cm | : | Alluvion sableuse ; brun-gris (2,5 Y 5/2 - 2,5 Y 4/2). |

Dans ce profil, l'engorgement est superficiel ; il est dû à l'inondation temporaire de la plaine alluviale. Mais dans les autres profils étudiés l'emplacement des traces d'hydromorphie dépend à la fois du régime hydrologique et de la superposition des textures des alluvions.

Caractères analytiques

En se reportant aux seuls horizons de surface de 12 profils analysés, on peut regrouper les caractéristiques analytiques suivantes :

Tableau 12

| | Extrêmes | Médiane |
|-----------------|-------------|---------|
| Argile % | 5 - 30 | 13 |
| C ‰ | 2 - 11 | 7,5 |
| C/N | 6,7 - 13,1 | 10,0 |
| T mé/100 g | 3,1 - 23,8 | 13,0 |
| V % | 47,5 - 100 | 80 |
| pH eau | 5,8 - 6,9 | 6,4 |
| N ‰ | 0,18 - 1,27 | 0,70 |
| P ‰ | 0,55 - 2,5 | 1,15 |
| K éch. mé/100 g | 0,1 - 1,9 | 0,55 |
| l_s | 0,3 - 8,6 | 2,8 |
| K cm/h | 0,4 - 5,2 | 0,8 |

Pour le *profil textural*, on doit rappeler la fréquence des taux élevés de limon, qui sont supérieurs et approximativement proportionnels à ceux d'argile ($L/A \approx 1,5$).

Les teneurs en *matière organique* sont de 3 à 5 fois plus fortes que dans les autres sols de la région et les C/N restent voisins de 10.

La *capacité d'échange* présente des valeurs relativement élevées et elle est bien saturée : le *degré de saturation* accuse en effet une valeur médiane de 80 % et si les extrêmes varient de 47,5 à 100 %, 8 valeurs sur 12 sont situées dans l'intervalle 69-86. Corrélativement les *pH* sont proches de la neutralité. Le cation dominant est toujours le calcium.

Ces caractères : accumulation de matière organique évoluée et bonne saturation du complexe, peuvent être interprétés comme liés au climat aride dont les effets s'expriment ici sur des matériaux peu évolués.

Parallèlement, la *fertilité chimique* est élevée :

-- les taux d'azote confèrent à ces sols un niveau de fertilité moyenne à bonne et même très bonne (dans deux cas sur douze seulement ce niveau est médiocre) ;

-- ces sols sont très bien pourvus en acide phosphorique ;

-- les taux de potassium échangeable sont moyens (onze cas sur douze supérieurs à 0,3 mé/100 g) à très bons (six cas sur douze supérieurs à 0,6).

Par contre, les *caractères physiques* de ces horizons de surface peuvent limiter la fertilité de ces sols : la stabilité structurale est médiocre, seulement parfois moyenne ; elle peut aussi être mauvaise. On doit voir là le rôle néfaste de la fraction limoneuse.

Pour les caractères des horizons sous-jacents, c'est la plus grande diversité ; on signalera simplement que les horizons argileux profonds sont fréquemment carbonatés, parfois alcalinisés.

Conditions d'utilisation

Ces sols, très fertiles pour la région, présentent en outre l'avantage fréquent de pouvoir être irrigués grâce à la proximité d'une nappe alluviale. Ce sont là des conditions exceptionnelles qui permettent d'envisager une grande diversité de cultures : légumes comme oignons, haricots... ; maïs, blé, pomme de terre, mil bien sûr, fruitiers...

La vocation culturale dépend essentiellement de la texture superficielle, mais devrait tenir compte aussi du profil : possibilités d'enracinement, niveau maximum atteint par la nappe, risque d'engorgement ; de même pour la technique et la fréquence des irrigations à pratiquer.

A ce sujet, les qualités physiques de nombreux sols sont telles qu'elles rendraient difficiles et aléatoires des irrigations en grand par d'autres techniques que l'aspersion ; à l'échelle de la parcelle et en quelque sorte du jardinage, ces sols restent le plus souvent irrigables à la raie, par submersion en carré, en traitant par petites unités bien contrôlées.

En définitive, ces sols, malgré leur faible surface et leur dispersion, représentent un potentiel certain de production et de diversification des cultures.

Extension, cartographie

Ces sols alluviaux peu évolués occupent en effet un faible pourcentage de la surface cartographiée (5,4 %) et ils apparaissent en unités fragmentées et étirées suivant le développement irrégulier des plaines alluviales.

Ils ont été cartographiés en unité pure (hydromorphes à pseudogley sur alluvions diverses) dans la partie centrale de ces cartes. En revanche ils ont été réunis en association :

- dans les régions nord, avec des sols bruns peu évolués, souvent alcalisés en profondeur ;
- dans les régions méridionales, avec des solonetz solodisés hydromorphes et des vertisols hydromorphes ; ces derniers étant liés aux textures plus argileuses des alluvions du cours moyen de l'Ouaddi HAMRA.

Enfin sur le plateau gréseux d'ADRE, ces sols peu évolués d'apport sont associés principalement à des solonetz solodisés.

III. LES SOLS BRUNS SUBARIDES

Deux types de sols bruns subarides ont été observés dans la région étudiée :

- des sols à caractères juvéniles, de texture légère, peu épais, sur produits de désagrégation de diorite, de basalte, rarement de granites basiques.
- des sols bruns tirsifiés, souvent rouges, sur produits d'altération issus de diorite, de basalte et parfois de granite.

1. Sols bruns subarides à caractères juvéniles

Morphologie : Profil ZOE 46 AM ZOER

- 14 km est-nord-est d'AM ZOER, après KASIN ; en bas du versant est de l'oued de KASIN ; zone très fortement érodée (nombreuses ravines), avec nombreux blocs rocheux à nu. La pente générale du versant est voisine de 3 % ; le profil est sur un replat, peu érodé.
 - Fourrés à *Boscia senegalensis*, *Acacia mellifera*, *Acacia senegal*, *Ziziphus mauritiana*, *Acacia flava*.
 - Sur produits de désagrégation de diorite sous-jacente.
 - Surface : Croûte lissée, brune, continue, présente même sous les bouquets de végétation ; épandage sableux irrégulier par-dessus ; présence de quartz pouvant atteindre 1 cm.
- 0 - 10 cm : Sous la croûte lamellaire d'un centimètre d'épaisseur et constituée d'un empilement de lits clairs sableux et sombres humifères et limoneux : horizon humifère, brun-jaune foncé (1,25 Y 4/4 - 3/2) ; sableux contenant de nombreux minéraux non altérés ; structure fondue à tendance polyédrique moyenne ; peu cohérent ; peu poreux ; chevelu racinaire très fin, assez abondant ; passage distinct et régulier à :
- 10 - 21 cm : Horizon encore humifère, brun-jaune foncé, légèrement plus clair (1,25 Y 5/4 - 4/3) ; de mêmes texture et structure, avec quelques fragments de diorite atteignant 3-4 cm ; peu cohérent ; peu poreux ; système racinaire très fin, bien ramifié, assez abondant ; passage distinct et régulier à :
- 21 - 38 cm : Horizon faiblement humifère ; brun-gris (1,25 Y 5/4 - 2,5 Y 4/4) ; de mêmes caractéristiques ; avec encore quelques racines et des radicelles très fines, denses ; passage distinct et ondulé avec des descentes en poches de cet horizon dans le suivant :
- 38 - 45 cm : Horizon de transition, brun-gris (1,25 Y 5/2 - 2,5 Y 5/3) ; hétérogène ; mélange d'une fraction terreuse équivalente à l'horizon supérieur avec des masses de diorite désagrégée ; forme un ensemble fondu à débit anguleux, peu cohérent, peu poreux ; avec quelques taches brun-ocre à contour diffus, mais nettes ; passage tranché et irrégulier à :
- 45 observé jusqu'à 110 cm : Diorite très faiblement cimentée, friable, localement désagrégée, altérée, avec des canaux biologiques remplis de terre brune et quelques racines descendant jusqu'à la base observée.

La **morphologie de ces sols est fidèle** et on ne note pas de différence fondamentale entre ceux développés sur produits issus de diorite (ZOE 44 AM ZOER), plus fréquents, et ceux formés sur produits issus de basalte (ZOE 20 GUEREDA), généralement plus limoneux.

Ces sols présentent les caractères généraux suivants :

- ils sont peu profonds : 40 à 80 cm. ;
- l'horizon humifère est bien développé, et la pénétration humifère en profondeur bien visible ; sa couleur est brune, sur un matériau original lui-même foncé ;
- les matériaux originels sont homogènes aux fragments de roche près, de texture légère, avec une proportion toujours importante de sables grossiers ; on peut observer une augmentation d'argile en profondeur, mais sans aucun signe de lessivage. Le drainage interne de ces sols est toujours bon sur les 50 cm supérieurs ;
- le drainage interne devient légèrement déficient au passage à la roche-mère : on observe des petites taches et une carbonatation diffuse qui se localise fréquemment dans la roche altérée et au-dessus.

Les **conditions d'existence** de ces sols sont également strictes et de deux types :

- dans les zones où l'érosion est très active, ils sont disposés en mosaïque, dans les sites relativement protégés de l'érosion ;
- en piedmont des massifs basaltiques, ils se développent sur les accumulations arénacées issues de l'érosion de ces reliefs ; c'est dans ces conditions qu'on peut observer des sols plus épais (ZOE 20 GUEREDA : sol de 80 cm sur une accumulation meuble de plus de 180 cm d'épaisseur).

Ainsi, ces sols bruns subarides sont toujours en rapport avec des phénomènes d'érosion et d'apport actuels ou subactuels, mais dans les sites où ces processus sont les plus modérés. Ceci implique les relations latérales qui les lient aux sols régniques et aux lithosols avec lesquels ils sont cartographiés en association. Ceci explique aussi leurs caractères juvéniles : si les phénomènes mécaniques ne sont pas le processus majeur de leur différenciation, ils jouent cependant ; et à leur intensité modeste, s'ajoutent les conditions de richesse en bases des matériaux originels qui apparaissent déterminantes pour faire s'exprimer une steppisation bien marquée.

Caractères analytiques (3 profils analysés)

Du point de vue *profil textural*, les taux d'argile en surface sont compris entre 5 et 7 % ; ceux de limon entre 8 et 16 % ; les sables grossiers varient entre 30 et 60 %. Dans deux cas sur trois, le profil textural est homogène ; dans le troisième cas (sol plus profond sur produits dérivés de basalte) on observe 15 % d'argile à partir de 50 cm.

Les teneurs superficielles en *matière organique* (2,0 à 4,8 ‰ de C) sont

parmi les plus élevées observées dans la région pour de telles textures (sols peu évolués sur alluvions mis à part) ; à 30 cm, on a encore 0,8 à 2,5 ‰ de C ; les C/N indiquent une matière organique bien évoluée.

Les *capacités d'échange* en surface varient entre 6 et 12 mé/100 g ; elles se stabilisent ensuite sur le profil autour de 6 pour les sols à texture homogène et oscillent entre 20-25 mé/100 g dans les horizons profonds à 15 % d'argile.

Les *taux de saturation* observés sont généralement supérieurs à 90 %.

Corrélativement les *pH* superficiels sont voisins de la neutralité (6,7 à 7,4) ; ils augmentent légèrement vers la base du profil où ils peuvent atteindre des valeurs de 8,0 - 8,5 quand il y a carbonatation.

La saturation du complexe est toujours assurée par du calcium et du magnésium dominants, la quantité de calcium étant supérieure. Aucun cas d'alcalinisation n'a été constaté.

Compte tenu des *pH* superficiels élevés, les teneurs en azote ne confèrent à ces sols qu'un *niveau de fertilité* médiocre, au plus moyen. Les taux d'acide phosphorique (0,25 à 1 ‰) sont très corrects. Les valeurs de potassium échangeables sont médiocres pour les sols sur diorite (0,1 à 0,2 mé/100 g), bonnes (0,6) pour le sol sur basalte analysé.

La *stabilité de la structure* est moyenne, sinon bonne en surface et ne décroît que peu ou pas dans les horizons sous-jacents.

Conditions d'utilisation

Ces sols sableux présentent, comme les sols ferrugineux tropicaux (chapitre suivant de ce rapport), un régime hydrique favorable à l'économie de l'eau vis-à-vis des végétaux. Comme eux, ils conviennent à la culture pluviale des Pennisetum et des arachides, sous réserve de limitation climatique.

Comparés aux sols ferrugineux tropicaux, ils ont l'avantage d'être sensiblement plus fertiles (même si cette fertilité reste plutôt médiocre) et d'avoir des propriétés physiques plus intéressantes.

Pour conserver ou améliorer cette fertilité, le retour à la jachère et l'utilisation de fumure à court terme sont impératifs ; l'absence de mesures conservatoires vis-à-vis du stock organique conduirait à une dégradation rapide et grave.

Dans les cas exceptionnels où l'irrigation serait possible sur de tels sols, on pourrait envisager une diversification des cultures avec des rendements certainement très intéressants, comme sur les sols peu évolués d'apport sur alluvions de texture analogue.

2. Sols bruns tirsifiés

Morphologie : Profil ZOE 214 MAYBA

- 7,5 km au nord de MAYBA ; sur une colline basaltique à sommet plat ; pente de l'ordre de 1 %.
 - Fourrés à *Acacia mellifera* exclusif dans la strate ligneuse et *Aristida mutabilis* comme strate herbacée.
 - Basalte.
 - Surface : localement, plages caillouteuses (fragments de basalte patinés). Localement aussi, réseau discret de fentes de retrait sans microrelief. En dehors de ces cas particuliers — et à l'endroit du profil — surface croûteuse, avec quelques blocs de basalte incrustés (ruissellement en nappe).
- 0 - 17 cm : Horizon humifère ; brun-rouge foncé (5 R 3,5/4 - 3/4) avec quelques rares petits amas de sable-rouge-jaune en remplissage de canalicules et en revêtements de faces structurales ; argileux ; structure cubique 2,5 cm, très bien développée, motteuse, avec surstructure prismatique de 10 cm maximum ; agrégats un peu poreux ; très durs ; assez forte activité biologique (canalicules) ; enracinement graminéen très fin, dense ; passage distinct et légèrement ondulé à :
- 17 - 34 cm : Horizon de même couleur, contenant quelques fragments de basalte patinés comme ceux observés en surface ; même texture argileuse ; structure prismatique 10-20 cm, irrégulièrement développée, avec sous-structure prismatique de 2 à 5 cm ; très dur ; compact sauf quelques pores tubulaires liés à des passages de racines ; racines à développement horizontal, mais radicelles denses pénétrant bien les agrégats ; passage graduel et ondulé à :
- 34 - 61 cm : Horizon brun-rouge un peu plus sombre (5 R 4/4 - 3/4) ; toujours argileux avec fragments de basalte non altérés au sommet de l'horizon, tandis qu'arrondis à la base avec une mince couche altérée superficielle friable ; présence de petites concrétions noires fortement cimentées ; massif à sous-structure polyédrique moyenne à grossière, avec quelques surfaces de glissement striées ; très dur ; très faible porosité tubulaire fine ; enracinement fin progressivement décroissant ; passage distinct et un peu ondulé à :
- 61 - 105 cm : Horizon d'altération du basalte fortement et grossièrement graveleux : fragments légèrement arrondis de basalte (5 cm) avec un cortex de 4-5 mm d'épaisseur présentant la séquence d'altération : noire (intérieur basalte non altéré), verti, jaune et pellicule rouge argileuse se desquamant ; la matrice est argileuse, rouge (2,5 R 3/6), à petites taches jaunes, avec une structure polyédrique fine ; passage graduel et ondulé à :
- vers 105 cm : Mêmes blocs de basalte altérés atteignant 10 cm, en assemblage serré par fragmentation en place de la roche, avec croûte rouge argileuse se desquamant.
- Profil non carbonaté.

Les sols bruns tirsifiés observés présentent tous des caractères de structure identiques : cubique fine bien développée en surface, elle passe en-dessous à prismatique fine en emballage prismatique plus grossier et enfin à polyédrique en assemblage continu.

Les *variations morphologiques* affectent :

— l'horizon de surface : dans le profil présenté on a des descentes de sables éoliens dans les fentes du sol ; on peut observer dans d'autres cas des remaniements (ZOE 171 AM ZOER, sur diorite). D'une façon générale, ces sols sont toujours plus ou moins érodés (ZOE 208 AM NABAK, sur diorite, fortement érodé). Les horizons superficiels sont souvent plus sableux.

— la rubéfaction : dans le profil décrit, sur basalte, elle est fortement développée sur l'ensemble du profil : les argiles d'altération sont elles-mêmes rouges ; c'est le cas extrême. Sur diorite et granite, on observe plus généralement une discrète rubéfaction superficielle, tandis que la base des profils est brun-jaune à brun-olive, passant progressivement à la roche altérée puis à la roche saine.

— la base des profils : les caractères vertiques y sont plus ou moins développés ; ils peuvent faire défaut (ZOE 207 AM NABAK, plus sableux) ; la carbonatation, allant jusqu'à des nodules, y est fréquente ; cette carbonatation peut atteindre le sommet du profil.

Ces sols s'observent toujours sur des surfaces planes et sont faiblement érodés, sauf quelques exceptions ; leur pédogenèse actuelle, active, semble limitée à la fragmentation superficielle, constante, et à la rubéfaction également superficielle, mais seulement fréquente, qui s'expriment sur une argile fortement montmorillonitique provenant de l'altération de roches basiques (SIEFFERMAN, 1969) ; pour certains profils, ils s'agit probablement de vertisols lithomorphes tronqués. Ces produits montmorillonitiques paraissent ainsi hérités d'une phase moins aride, cette altération étant actuellement bloquée ou ne se poursuivant qu'avec une faible intensité.

Ces sols bruns tirsifiés passent latéralement à des sols régiques d'érosion à faciès bruns tirsifiés et rubéfiés, dès que l'érosion devient plus intense ; ils sont cartographiés en association avec eux.

Localement aussi, sur zone plane et à l'échelle du micromodelé, ils sont associés à des vertisols occupant des cuvettes faiblement déprimées de quelques mètres de diamètre, et portant des fourrés d'*Acacia mellifera*.

Caractères analytiques (5 profils analysés dont 1 sur basalte, 1 sur granite et trois sur diorite)

Les *taux d'argile* s'échelonnent entre 16 et 40 % en surface, et entre 25 et 42 % à la base des profils. Sur l'ensemble des horizons analysés, la proportion des sables grossiers est très variable (20 à 50 %) suivant les caractères de la roche-mère, et parfois en fonction d'apports superficiels plus ou moins digérés.

Pour la *matière organique*, qui est mal exprimée morphologiquement, on observe effectivement des teneurs modestes eu égard aux quantités d'argile : les taux de carbone dans l'horizon 0-10 cm varient entre 2,1 et 4,6 ‰ ; mais la pénétration est relativement profonde : la valeur de C la plus basse observée autour de 30-40 cm est 1,5 ‰ et on a plus couramment 2 à 2,5 ‰. Les C/N voisinent 10.

Les *capacités d'échange* sont élevées, les argiles ayant elles-mêmes une capacité d'échange comprise entre 60 et 95 mé/100 g.

Le complexe est toujours proche de la *saturation* : la valeur minimum de V observée — en surface — est 70 %, et toutes les autres sont supérieures à 80 % et plus souvent à 90 %.

Parallèlement les pH sont neutres en surface — (6,7 à 7,2), et augmentent en profondeur ; à la base des profils, où les phénomènes de carbonatation sont fréquents, on observe alors des pH compris entre 7,5 et 8,0 ; à ce niveau des profils, de faibles alcalinisations sont également assez fréquentes ($\text{Na/T} \leq 10\%$) ; les fortes alcalinisations peuvent exister (sol sur granite : $\text{Na/T} = 20\%$) et les pH dépassent alors 9,0.

Le calcium reste toujours le cation échangeable dominant, suivi du magnésium.

Les analyses de fer (total et libre) ne mettent en évidence aucune différence entre horizons rubéfiés et non rubéfiés.

Les taux d'azote superficiels (0,22 à 0,39 ‰) ne confèrent à ces sols qu'un *niveau de fertilité* médiocre. Les rapports P/N sont toujours plus que suffisants (0,50 à 2,0 ‰ de P_2O_5 total). Les valeurs de potassium échangeable dépendent de la roche-mère : elles sont faibles (0,1 mé/100 g) pour le granite, moyennes (0,3) pour les diorites, très élevées (1,0) pour le basalte.

La *stabilité structurale* est moyenne en surface ; exceptionnellement, sur granite, elle est mauvaise. Dans les horizons sous-jacents, la perméabilité reste généralement élevée, tandis que l'indice I_s augmente. A la base, la stabilité diminue ; elle est franchement mauvaise dans les horizons alcalinisés.

Conditions d'utilisation

Ces sols présentent des propriétés physiques intrinsèques généralement intéressantes et une fertilité chimique médiocre.

Mais de toute façon, essentiellement localisés dans des régions à pluviométrie annuelle inférieure à 450 mm, leur forte capacité de rétention pour l'eau et par conséquent leur régime hydrique superficiel, interdisent d'envisager, avec des chances de succès raisonnables, des cultures sans irrigation, dont la possibilité est pratiquement inexistante.

Dans ces conditions, la vocation de ces sols reste essentiellement sylvo-pastorale ; il importe de ne pas détruire leur couvert végétal sous peine de voir s'intensifier les phénomènes d'érosion.

Extension, cartographie

L'extension de ces sols bruns subarides est surtout limitée aux affleurements de diorites et de basaltes. Elle se situe presque entièrement sur la feuille AM ZOER au sud et à l'est de cette localité, ainsi que dans le Massif du MARAONE.

Ces sols bruns sont toujours associés à des sols régiques et à des lithosols, parfois à des vertisols. *Le total des surfaces cartographiées en telles associations ne représente que 1,2 % des cartes.*

IV. LES SOLS FERRUGINEUX

La formation de sols de type ferrugineux tropical apparaît bien être la *différenciation pédologique majeure dans cette région*. Elle se définit par l'individualisation des hydroxydes et par des phénomènes de migration des éléments solubles, de l'argile et des hydroxydes. Ces migrations, d'intensité variable, se manifestent verticalement dans les profils, mais elles sont également latérales dans le paysage et conduisent dans les toposéquences, sur roche-mère homogène, à une différenciation pédologique latérale. Les sols ferrugineux ne représentent alors dans ces toposéquences que les termes amont plus ou moins éluviaux alors que les termes aval, où dominent les accumulations, sont les sonoletz solodisés et les vertisols. Au long de ces toposéquences les sols ferrugineux eux-mêmes varient latéralement : leurs horizons lessivés se développent puis se réduisent avec apparition d'hydromorphie secondaire, alors que les horizons d'accumulation augmentent et que les hydroxydes peuvent se concrétionner.

Cette différenciation de sols ferrugineux tropicaux semble avoir été *plus importante dans le passé qu'elle ne l'est actuellement*. Elle a en effet marqué profondément l'ancienne couverture pédologique du massif, dont l'on retrouve trois sortes de vestiges, hormis quelques rares affleurements de cuirasse ferrugineuse :

- sur les surfaces les plus hautes et les plus anciennes, des toposéquences entières ont été localement conservées ;
- sur la surface moyenne, dominant des sols ferrugineux dont les caractères de fort lessivage ne peuvent être reliés au climat actuel ;
- sur la surface inférieure disséquée par érosion, seuls s'observent des horizons reliques qui représentent la base d'anciens profils ferrugineux.

L'aridification quaternaire récente a permis de conserver des fortes différenciations anciennes, alors que le climat actuel n'affecte que modérément les profils. Les phénomènes de migration sont en particulier réduits, et ne s'expriment que difficilement, surtout lorsqu'ils affectent des matériaux ou des profils anciens déjà intensément différenciés.

La difficulté majeure qui a été rencontrée lors de l'étude et de la cartographie de ces sols ferrugineux, a précisément été de discerner dans les profils la

part de la différenciation actuelle par rapport aux différenciations passées, et de définir leurs principales combinaisons (paléosols, profils polyphasés, profils actuels). La classification et la légende qui ont été choisies tentent de le faire en distinguant trois unités de sols ferrugineux : unités à la fois historiques, génétiques et cartographiques :

a) Une première unité correspond aux plus faibles différenciations qui sont les plus récentes : elles s'exercent sur des apports sableux éoliens. Les migrations y sont en particulier réduites en raison du climat actuel et du fait de la nature presque exclusivement quartzeuse de ces matériaux éoliens récents. Ces sols ferrugineux, simplement caractérisés par une individualisation des hydroxydes, sont considérées comme **peu évolués, non lessivés, récents**.

b) Une seconde unité regroupe des sols **évolués, actuellement peu lessivés**. Les différenciations en horizons ABC sont plus affirmées et expriment un lessivage modéré qui se traduit — à la partie supérieure du profil — par des accumulations faibles soit sous forme diffuse, soit sous forme discontinue, en raies. Vers la base du profil et souvent à grande profondeur, se retrouvent des accumulations variées et plus puissantes qui révèlent un ancien lessivage plus intense. Aussi les profils de cette seconde unité sont fréquemment **polyphasés**, notamment lorsque des apports éoliens se sont mélangés et superposés à des produits granitiques.

c) La troisième unité comprend des différenciations très affirmées dès la surface. Les profils sont **lessivés, avec ou sans concrétionnement** dans les horizons A₂ ou B. Ces profils sont contrastés et montrent ainsi l'intensité des migrations et des accumulations, qui s'accompagnent d'hydromorphie secondaire et de nodulation d'hydroxydes. Il s'agit de **paléosols** qui ont été conservés sur les surfaces hautes et moyennes, épargnées par les reprises d'érosion.

1. Les sols ferrugineux, non lessivés, peu évolués, sur sables éoliens.

Ils sont localisés sur les formations éoliennes les plus récentes ; celles-ci se manifestent sous forme de cordons dunaires longitudinaux et de dunes d'obstacle situées dans les vallées, dans le prolongement des décharges proluviales des ouaddis. Ces matériaux bien triés sont presque uniquement des sables quartzeux éolisés, de plusieurs mètres d'épaisseur et affectés par un modelé éolien aux ondulations de taille variable. Ces massifs dunaires, souvent bien circonscrits, sont remarquablement fixés dans les régions sud par des peuplements arborés et un couvert graminéen régulier. En revanche, vers le nord le couvert végétal diminue fortement et les dégradations superficielles — comme le simple passage des troupeaux — occasionnent actuellement des reprises d'érosion éolienne ; tel est le cas des zones sableuses au nord-est de BILTINE et surtout du grand massif sableux au nord-est de GUEREDA qui a été cartographié entièrement en sols ferrugineux tropicaux peu lessivés évolués, sans isoler les reprises d'érosion éolienne à sols non lessivés peu évolués.

Morphologie : Profil AD 15 BREGE

- 4 km est-sud-est de BREGE. Altitude vers 860 mètres.
- Cordon dunaire N.E/S.O. Légèrement ondulé. Tiers supérieur de la pente.

- Savane arborée à *Burkea africana* et *Stereospermum kunthianum*, avec une strate arbustive à *Terminalia* et *Combretum glutinosum*. Strate herbacée à *Aristida sp.*, *Ctenium elegans*, *Loudetia hordeiformis*.
- Sables quartzeux éoliens, grossiers.
- Surface : sables déliés sur 3 à 4 cm.

- 0 - 18 cm : Horizon très faiblement humifère, très légèrement appauvri en argile et sesquioxydes ; brun (10 YR 5/3 - 10 YR 4/3) ; sableux ; strié horizontal ; fondu à débit irrégulier ; peu cohérent ; faiblement poreux ; chevelu racinaire peu dense ; passage distinct et régulier à :
- 18 - 43 cm : Horizon encore très faiblement humifère, brun-jaune (10 YR 5/4 - 10 YR 3/4) ; sableux ; fondu à tendance polyédrique ; peu cohérent ; faiblement poreux ; enracinement moyen à tendance horizontale ; passage tranché et régulier à :
- 43 - 76 cm : Horizon de coloration : brun vif (8,75 YR 5/5 - 4/5) ; homogène ; sableux ; même structure et porosité ; horizon le plus cohérent ; passage distinct et régulier à :
- 76 - 125 cm : Passage au matériau ; brun vif plus rouge (7,5 YR 5/6 - 4/6) ; analogue.
- 125 - 200 cm : Sable rouge-jaune (6,25 YR 5/6 - 4/6) ; fondu à débit irrégulier ; porosité originelle du matériau ; racines encore présentes.

Ce profil montre une pénétration profonde de la matière organique et la formation d'un horizon B de couleur et de légère consistance. On n'observe pas de variations importantes dans les autres profils étudiés ; dans le détail c'est sur ces caractères de couleur et de faible consistance du B, que portent les variations et c'est dans les régions les plus sèches, vers le nord-ouest et sur les sommets de certains massifs dunaires (ZOE 27 BILTINE) qu'on note le mieux cette faible différenciation qui caractérise ces sols ferrugineux non lessivés, peu évolués.

Caractères analytiques

Les valeurs extrêmes et médianes des caractéristiques analytiques de 5 profils analysés sont regroupées dans le tableau 13, page 70.

La faible évolution des profils se marque par l'absence de variations verticales pour la plupart des caractéristiques. On noterait seulement un faible déplacement de l'argile alors que celui des hydroxydes n'apparaît pas. Les teneurs en matières organiques sont particulièrement faibles et les pH sont légèrement acides.

Le niveau de fertilité est bas en raison des faibles teneurs en azote et potasse. Les conditions d'utilisation de ces sols seront examinées après l'étude des autres types de sols ferrugineux, page 79.

Extension, cartographie

L'extension de ces sols — déjà évoquée — est celle des formations dunaires récentes. Elle est limitée en surface (2,2 % isolés en cartographie). Ces massifs ou cordons dunaires, généralement bien délimités, ont été cartographiés comme des toposéquences où le type peu évolué non lessivé précédent, occupe les parties

hautes et le tiers supérieur des ondulations, alors que les parties inférieures du modelé présentent des sols moins colorés, légèrement lessivés et à accumulations discontinues en raies.

2. Les sols ferrugineux évolués, peu lessivés, sur divers matériaux

On distingue plusieurs types suivants :

- le matériau dont ils dérivent :
 - . sables rouges des plateaux gréseux paléozoïques (type : AD 1 ADRE).
 - . sables et sables argileux dérivés des grès paléozoïques (type : AD 95 GERNYE).
 - . sables éoliens en mélange avec des produits granitiques (matériau mixte (type : AD 40 MATAGE).
- le mode d'accumulation de l'argile et des hydroxydes dans les horizons B,
 - . soit diffuse (type : AD 1 ADRE).
 - . soit discontinue, en raies (types : AD 95 GERNYE et AD 40 MATAGE).

a) Les sols ferrugineux peu lessivés dérivés de matériaux gréseux paléozoïques

Deux unités se distinguent par leur extension et leurs caractères morphologiques et analytiques :

- les sols sans raies, sur sables rouges des plateaux gréseux ; *surface* : 1,7 % des cartes ;
- les sols avec raies, sur sables et sables argileux dérivés de grès ; *surface* : 1 % des cartes.

Profils sans raies

Morphologie : Profil AD 1 ADRE

- 6 km sud-ouest d'ADRE. Altitude 855 mètres. Plateau d'ADRE.
- Savane arbustive dense à *Combretum glutinosum*, *Guiera senegalensis*, *Lanea fructicosa* ; strate herbacée à *Loudetia hordeiformis*, *Ctenium elegans*, *Eragrostis tremula*, *Pennisetum pedicellatum*.
- Sables quartzeux rouges dérivés de grès paléozoïques.
- Surface : sables déliés et croûte.

0 - 13 cm : Horizon faiblement humifère, légèrement appauvri en argile, brun (7,5 YR 5/4 - 6,25 YR 4/3) ; sableux ; fondu à débit irrégulier ; peu cohérent ; non poreux ; passage graduel et régulier à :

- 13 - 30 cm : Horizon encore humifère et appauvri en argile, d'aspect strié ; brun-rouge (5 YR 5/4 - 6,25 YR 4/3) ; sableux ; fondu à débit irrégulier ; peu cohérent ; non poreux ; passage graduel et régulier à :
- 30 - 43 cm : Horizon de transition, brun-rouge jaune (5 YR 5/5 - 3,75 YR 4/4) ; sableux ; légère tendance polyédrique ; peu cohérent ; faiblement poreux ; passage graduel à :
- 43 - 70 cm : Horizon coloré, légèrement et diffusément plus riche en argile ; rouge (3,75 YR 5/8 - 2,5 YR 3/6) ; sableux ; légère tendance polyédrique ; peu cohérent ; légèrement moins poreux ; passage graduel à :
- 70 - 225 cm : Sables quartzueux rouges (2,5 YR 5/8 - 2,5 YR 4/6) ; fondu à débit irrégulier ; peu cohérent ; compact avec seule porosité interstitielle.

Ce profil n'est pas contrasté et la différenciation n'apparaît que par de faibles variations de couleur et de structure.

Caractères analytiques (cf. tableau 13, page 70)

En relation avec les caractères morphologiques, on relève :

- une profonde pénétration de la matière organique, relativement abondante en surface (Md C $\frac{\circ}{\circ\circ}$ = 2,7) et bien évoluée (C/N = 10,5) ;
- le lessivage de l'argile et du fer et leur accumulation faible et progressive.

On note par ailleurs une assez forte désaturation de la base du profil (pH = 4,8) alors que les horizons humifères superficiels sont mieux saturés (pH = 6,0). La fertilité chimique doit être considérée comme moyenne.

Extension, cartographie

Ces sols rouges, sableux, constituent la plus grande partie du plateau d'ADRE, dont ils caractérisent toutes les zones hautes et planes. Ils forment alors une unité homogène, également définie par sa couverture végétale de savane arbustive dense à *Combretum*.

Profils à raies

Morphologie : Profil AD 95 GERNYE

- 15,5 km ouest-sud-ouest d'ADRE. Altitude vers 870 mètres.
- Versant de l'Oued MERKADJA.
- Savane arborée à *Sterculia setigera*, *Albizia chevalieri*, *Lanea fructuosa* ; strate arbustive à *Combretum glutinosum*, *Guiera senegalensis* ; strate herbacée à *Aristida stipoïdes*, *Loudetia hordeiformis*, *Ctenium elegans*.
- Sables quartzueux dérivés de grès paléozoïques.
- Surface : sables déliés sur une croûte feuilletée.

Tableau 13 :
Sols ferrugineux tropicaux non et peu lessivés

| | | SFT non ou peu lessivés peu évolués | | | Sols ferrugineux tropicaux peu lessivés évolués | | | | |
|---|-----------------------------------|---|------|--------|---|------|------|--|------|
| | | s/sables éoliens des formations récentes | | | sans raies | | | à raies | |
| | | | | | s/sables rouges des plateaux gréseux paleozoïques | | | s/sables et sables argileux dérivés de grès paleozoïques | |
| | | 5 profils | | | 4 profils | | | 2 profils | |
| Type de B | | Mini | Md | Maxi | Mini | Md | Maxi | (1) | (2) |
| Matière organique | | | | | | | | | |
| C ^o / _{oo} dans A ₁₁ (0-10 cm) | | 1,3 | 1,9 | 2,3 | 1,8 | 2,7 | 3,6 | 2,0 | 2,6 |
| dans A ₁₂ (vers 30-40) | | 0,7 | 1,4 | 1,6 | 1,1 | 1,8 | 3,0 | 1,5 | 1,5 |
| C/N dans A ₁₁ | | 9,3 | 10,0 | 12,0 | 10,4 | 10,5 | 16,6 | 10,0 | 9,3 |
| dans A ₁₂ | | 10,0 | 11,0 | (14,5) | 9,2 | 12,5 | 16,0 | 10,5 | 8,0 |
| Couleur | | Structural (+ Textural) | | | Textural (raies + souvent diffus) | | | | |
| Argile % | A ₁₁ | 2,0 | 3,0 | 3,5 | 1,8 | 2,8 | 4,0 | 3,0 | 5,0 |
| | A ₁₂ ou A ₂ | 3,0 | 4,0 | 5,0 | 2,2 | 3,6 | 5,0 | 6,8 | 7,5 |
| | B | 3,5 | 4,7 | 5,0 | 3,8 | 6,5 | 9,0 | 12,3 | 15,0 |
| | BC ou C | 3,5 | 4,5 | 6,0 | 4,5 | 7,5 | 9,2 | 12,0 | 19,0 |
| Fer total ^o/_{oo} | A ₁₁ | 5,1 | 8,0 | 8,8 | 6,2 | 7,1 | 13,0 | 6,6 | 13,0 |
| | A ₁₂ ou A ₂ | 5,5 | 8,2 | 10,5 | 5,2 | 8,9 | 14,6 | 7,8 | 15,6 |
| | B | 5,1 | 7,2 | 9,2 | 8,2 | 14,0 | 28,0 | 11,8 | 23,0 |
| | BC ou C | 5,3 | 7,8 | 9,4 | 7,8 | 10,9 | 14,4 | 11,4 | 31,0 |
| T mé/100 g | A ₁₁ | 1,5 | 2,4 | 3,2 | 1,0 | 1,7 | 2,3 | 2,1 | 2,7 |
| | A ₁₂ ou A ₂ | 1,7 | 2,9 | 3,2 | 1,4 | 1,8 | 2,2 | 1,8 | 3,5 |
| | B | 1,7 | 2,4 | 2,9 | 1,4 | 1,8 | 2,5 | 3,3 | 5,4 |
| | BC ou C | 1,7 | 2,4 | 2,5 | 1,3 | 1,7 | 1,9 | 2,4 | 6,7 |
| V % | A ₁₁ | 15 | 66 | 81 | 43 | 75 | 90 | 52 | 48 |
| | A ₁₂ ou A ₂ | 15 | 59 | 94 | 30 | 45 | 80 | 55 | 37 |
| | B | 13 | 81 | 95 | 22 | 37 | 60 | 24 | 38 |
| | BC ou C | 16 | 79 | 94 | 48 | 77 | 87 | 33 | 55 |
| pH eau | A ₁₁ | 4,7 | 6,6 | 7,1 | 5,8 | 6,0 | 6,2 | 6,0 | 5,8 |
| | A ₁₂ ou A ₂ | 4,4 | 6,7 | 7,2 | 4,9 | 5,6 | 6,2 | 5,0 | 4,8 |
| | B | 4,3 | 6,9 | 7,1 | 4,6 | 4,7 | 6,2 | 4,6 | 4,5 |
| | BC ou C | 4,4 | 6,7 | 6,9 | 4,5 | 4,8 | 5,6 | 4,8 | 4,7 |
| Fertilité chimique : A₁ | | 0,13 0,19 0,20 | | | 0,17 0,20 0,34 | | | 0,20 0,28 | |
| : N ^o / _{oo} | | _____ bas _____ | | | - médiocre à moyen - | | | - médiocre à moyen - | |
| : P ₂ O ₅ ^o / _{oo} | | 0,12 0,20 | | | 0,12 0,20 | | | 0,10 | |
| : Equilibre P/N | | _____ bon _____ | | | _____ moyen _____ | | | - à peine moyen - | |
| : K échan. : mé/100 g | | ≤ 0,1 | | | ≤ 0,1 | | | 0,15 0,15 | |
| : Niveau de fertilité | | _____ bas _____ | | | _____ bas _____ | | | _____ médiocre _____ | |
| Stabilité structurale | | | | | | | | | |
| A ₁ : I _s | | 0,2 0,5 | | | 0,3 | | | / | |
| : K cm/h | | 0,9 1,3 | | | 0,6 | | | / | |
| : Stabilité structurale | | _____ moyenne à bonne _____ | | | _____ moyenne _____ | | | | |
| A ₂ : I _s | | 0,2 0,5 | | | / | | | / | |
| : K cm/h | | 0,4 1,0 | | | / | | | / | |
| : Stabilité structurale | | _____ moyenne _____ | | | | | | | |

- 0 - 8 cm : Horizon faiblement humifère appauvri en argile et hydroxydes ; beige brun (10 YR 6/3 - 4/3) ; sableux ; massif à tendance feuilletée ; peu cohérent ; compact ; passage distinct à :
- 8 - 17 cm : Horizon encore légèrement humifère, lessivé ; plus brun (10 YR 5/3 - 7,5 YR 4/3) ; massif à débit irrégulier ; peu cohérent ; compact ; passage distinct à :
- 17 - 30 cm : Horizon lessivé encore humifère ; brun-ocre (8,5 YR 5/4 - 7,5 YR 4/3) ; légère tendance polyédrique ; passage distinct à :
- 30 - 48 cm : Horizon à accumulation discontinue en raies ; plus rouge (7,5 YR 6/4 - 4/4) ; sableux légèrement argileux ; tendance polyédrique ; peu cohérent avec quelques noyaux peu durs ; faiblement poreux ; passage tranché souligné par une raie :
- 48 - 80 cm : Horizon d'accumulation rouge (6,25 YR 5,5/6 - 5 YR 4,5/6), analogue.
- 80 - 200 cm... : (par sondage). Passage au matériau plus jaune (7,5 YR 5/8 - 5 YR 4,5/8).

Ce profil, plus contrasté que le précédent, se caractérise par une décoloration superficielle et l'apparition d'accumulations discontinues en raies, à la base des horizons lessivés.

Caractères analytiques (cf. tableau 13, page 70)

Si les caractéristiques de la matière organique sont analogues à celles des sols précédents, en revanche le lessivage de l'argile et des sesquioxydes est plus affirmé. On retrouve la forte désaturation de la base des profils, qui est peut-être une caractéristique de ces matériaux gréseux, alors que la meilleure saturation superficielle serait due à la couverture végétale.

Extension, cartographie

Ces sols, de coloration superficielle plus claire et à raies en profondeur, se localisent plutôt sur les bordures du plateau d'ADRE et en particulier sur le versant sud-est où ils sont associés, en toposéquence, avec des sols plus lessivés et avec des sols hydromorphes.

b) Les sols ferrugineux peu lessivés sur matériau mixte

Leur matériau est constitué de sables éoliens principalement quartzeux, en mélange progressif avec des éléments d'arène granitique. Les sables éoliens dominent à la partie supérieure des profils, l'arène granitique domine à la base : ce matériau mixte correspond vraisemblablement à l'ensablement progressif de versants granitiques. On observe dans ces versants ensablés une différenciation pédologique latérale, conduisant généralement à la formation de trois types de sols ferrugineux suivant la pente :

— à l'amont, des profils sans horizons B, mais avec des accumulations discontinues en raies dans l'A₂.

— dans la partie moyenne du versant, la présence simultanée de raies et d'horizon B à accumulation diffuse.

— vers l'aval de l'ensablement, des profils ABC à horizon B diffus.

Par ailleurs, la morphologie de ces profils est encore souvent rendue complexe par superposition de pédogenèse (profils polyphasés). La base des profils, développée sur matériaux granitiques, présente des caractères très lessivés, et ce n'est qu'à la partie supérieure — dans les anciens horizons lessivés, épaissis par l'apport éolien — que se manifeste la pédogenèse actuelle à caractère peu lessivé. Le profil AD 40 MATAGE fournit un exemple de cette surimposition de pédogenèse.

Morphologie : Profil AD 40 MATAGE

- Sud de MATAGE. Altitude vers 705 mètres.
 - Léger ensablement de versant granitique. Position de replat.
 - Jachère (mil penicillaire) arbustive avec quelques arbres : *Faidherbia albida*, *Sterculia setigera*, *Zizyphus mucronata* ; strate arbustive buissonnante à *Bauhinia reticulata*, *Calotropis procera* ; strate herbacée à *Cenchrus biflorus* et *Eragrostis tremula*.
 - Granite avec faible apport superficiel de sables quartzeux éoliens : ancien sol ferrugineux tropical lessivé avec accumulation d'argile et de carbonates en profondeur, sur granite.
 - Surface : sables déliés.
- 0 - 23 cm : Horizon très faiblement humifère, appauvri en hydroxydes (ancien horizon lessivé) ; gris légèrement brun (10 YR 6,5/2 - 4,5/3) ; sableux avec sables éolisés et sables subanguleux du granite ; fondu à débit régulier ; peu cohérent ; faiblement poreux ; passage très distinct, régulier à :
- 23 - 50 cm : Horizon très faiblement humifère, de consistance (ancien horizon lessivé) ; brun-gris à brun (10 YR 5/2,5 - 4/3) ; légèrement marbré ; sableux plus riche en grains subanguleux ; tendance polyédrique ; peu dur à localement dur ; assez poreux ; passage tranché marqué par une raie, à :
- 50 - 75 cm : Horizon encore très faiblement humifère, avec début d'accumulation en raies (ancien horizon lessivé) ; brun-gris à gris (10 YR 5,5/2,5 - 4,5/3) avec raies brun vif (7,5 YR 5/6) ; sableux sans sables éolisés ; fondu à débit régulier ; peu dur ; bien poreux ; passage tranché marqué par une raie, à :
- 75 - 120 cm : Ancien horizon lessivé (A₂) avec accumulation, en raies, d'argile et d'hydroxydes ; gris clair (10 YR 6,5/2 - 5/3) avec nombreuses raies brun vif, distinctes, flexueuses ; les parties gris clair, lessivées, entre les raies, sont très poreuses et peu dures ; passage tranché marqué par une raie à :
- 120 - 150 cm : Horizon de transition entre accumulation en raies et accumulation diffuse, avec des marbrures horizontales correspondant à l'épaississement et à l'enchevêtrement des raies ; sableux très légèrement argileux ; polyédrique moyen ; dur ; assez poreux ; passage distinct à :
- 150 - 185 cm : Ancien horizon d'accumulation diffuse d'argile, d'hydroxydes et de carbonates ; brun (10 YR 5/3 - 4/3) ; sablo légèrement argileux ; polyédrique avec légère tendance prismatique ; dur ; faiblement poreux ; passage distinct à :
- 185 - 205 cm : Ancien horizon d'accumulation avec concrétionnement des hydroxydes sous forme de nodules noirs, cimentés, de 1 à 2 cm de diamètre ; texture plus graveleuse ; présence de carbonates ; passage tranché à :

- 205 à 215 cm : Matériau plus riche en graviers quartzeux et feldspathiques ; présence locale de carbonates ; passage tranché et ondulé à :
- 215 à 250 cm : Granite leucocrate à feldspaths grossiers, désagrégé, avec marbrures brun-rouge et noires et présence locale de carbonates.

Ce profil polyphasé est remarquablement contrasté et l'on observe que la formation d'un horizon de consistance et de l'accumulation discontinue en raies, se réalise dans les horizons supérieurs lessivés (A₂) d'un ancien sol ferrugineux lessivé.

Caractères analytiques (cf. tableau 15, page 74)

Avant d'examiner l'ensemble des résultats concernant 18 profils de ce type, on peut citer des résultats analytiques particuliers concernant un échantillon de raies (AD 405) comparé à un échantillon de l'espace lessivé inter-raies (AD 404).

Tableau 14

| | Argile °/°° | Fer total °/°° | Carbone °/°° | Somme des B. E. mé/100 g | Capacité d'échange mé/100 g | pH |
|-----------------------------------|----------------|-------------------|-----------------|--------------------------------|-----------------------------------|-----|
| AD 404 (100-110 cm) inter-raie | 4,5 | 5,9 | 1,1 | 2,3 | 2,8 | 6,2 |
| AD 405 (105 cm) raie | 11,0 | 8,3 | 1,1 | 4,9 | 5,7 | 6,0 |

L'accumulation, dans la raie, d'argile, d'hydroxydes et de bases est particulièrement manifeste, alors que celle de matière organique ne s'observe pas à cette profondeur (105 cm). Ces raies représentent donc bien des accumulations discontinues au sein d'horizons A₂.

Les résultats analytiques de 18 profils ont été regroupés dans le tableau 15, page 74, suivant les trois types qui forment les toposéquences. Ainsi peuvent être examinées aussi bien les variations verticales dans les profils que latérales dans les paysages.

Les teneurs en *matière organique* sont également faibles dans les trois types et sont mêmes inférieures à celles des sols ferrugineux peu évolués sur sables éoliens. Ces sols étant très généralement utilisés, on pourrait imputer ces faibles valeurs à l'influence de leur mise en culture saisonnière.

Les variations des teneurs en *argile* et en *fer* montrent indéniablement un lessivage vertical, aussi bien qu'une accumulation latérale vers le bas de pente. Cependant, le lessivage en argile n'est pas maximum à la base de l'A₂, comme dans les sols intensément lessivés.

Les *bases échangeables* présentent le même type de variation et l'on détecte même un minimum de saturation en A₂. Comme dans les sols ferrugineux sur grès paléozoïques, les pH sont anormalement bas en profondeur, sauf s'il y a

Tableau 15 :
Sols ferrugineux tropicaux peu lessivés sur sables éoliens
à éléments d'arène granitique

| TYPE DE PROFIL | à accumulation discontinue en raies | | | | | | sans raies | |
|--|---|------|------|--|------|------|---------------------------|------|
| | A-A ₂ b raies - C Raies dans un A ₂ B souvent inexistant (lessivage oblique) | | | A-B (raies, diffus) - C Raies dans et/ou passant à un B argileux diffus | | | A - B - C B diffus | |
| | 9 profils (A mont) | | | 7 profils (Mi-versant) | | | 2 profils (Aval) | |
| | Mini | Md | Maxi | Mini | Md | Maxi | (1) | (2) |
| Matière organique | | | | | | | | |
| C ‰ dans A ₁₁ (0-10 cm) | 1,3 | 1,6 | 4,5 | 1,1 | 1,6 | 2,1 | 1,1 | 1,5 |
| dans A ₁₂ (env. 20-40) | 0,9 | 1,4 | 2,2 | 0,8 | 1,2 | 1,6 | 1,0 | 1,5 |
| C/N dans A ₁₁ | 7,2 | 9,1 | 11,8 | 7,3 | 8,4 | 11,1 | 9,2 | 9,4 |
| dans A ₁₂ | 7,5 | 8,8 | 12,6 | 6,5 | 8,5 | 10,7 | 7,7 | 10,0 |
| Argile % | | | | | | | | |
| A ₁₁ | 2,0 | 2,8 | 3,5 | 2,5 | 3,0 | 6,5 | 6,5 | 3,5 |
| A ₁₂ ou A ₂ | 2,8 | 4,5 | 7,8 | 4,0 | 5,5 | 12,0 | 8,5 | 8,5 |
| B ou A ₂ b (raies) | 3,0 | 5,0 | 6,0 | 7,0 | 8,5 | 11,5 | 9,0 | 21,0 |
| C ou BC | 3,5 | 6,5 | 14,0 | 7,0 | 8,0 | 12,0 | 11,0 | 20,5 |
| Fer total ‰ | | | | | | | | |
| A ₁₁ | 4,4 | 6,4 | 10,0 | 5,8 | 7,4 | 17,9 | 14,2 | 14,4 |
| A ₁₂ ou A ₂ | 6,4 | 8,2 | 13,0 | 10,2 | 11,0 | 26,0 | 20,2 | 17,5 |
| B ou A ₂ b (raies) | 6,0 | 8,4 | 12,0 | 9,2 | 13,8 | 16,5 | 19,2 | 35,6 |
| C ou BC | 7,4 | 9,3 | 18,4 | 9,2 | 12,4 | 17,2 | 26,4 | 39,1 |
| T mé/100 g | | | | | | | | |
| A ₁₁ | 1,1 | 2,1 | 3,1 | 1,8 | 2,9 | 3,1 | 4,5 | 2,0 |
| A ₁₂ ou A ₂ | 1,5 | 2,4 | 4,3 | 2,5 | 2,9 | 4,1 | 6,7 | 4,0 |
| B ou A ₂ b (raies) | 1,2 | 2,4 | 2,9 | 2,9 | 4,2 | 5,5 | 6,5 | 6,2 |
| C ou BC | 1,7 | 3,1 | 8,3 | 2,5 | 4,3 | 5,6 | 10,7 | 7,3 |
| V % | | | | | | | | |
| A ₁₁ | 51 | 74 | 100 | 41 | 56 | 75 | 80 | 100 |
| A ₁₂ ou A ₂ | 41 | 72 | 93 | 55 | 65 | 84 | 75 | 67 |
| B ou A ₂ b (raies) | 40 | 63 | 100 | 45 | 81 | 100* | 87 | 81 |
| C ou BC | 45 | 78 | 100 | 55 | 76 | 100* | 87 | 93 |
| pH eau | | | | | | | | |
| A ₁₁ | 5,6 | 6,1 | 6,6 | 5,2 | 6,4 | 6,9 | 7,0 | 6,1 |
| A ₁₂ ou A ₂ | 5,5 | 6,0 | 6,5 | 5,1 | 5,8 | 6,6 | 6,9 | 5,8 |
| B ou A ₂ b (raies) | 4,7 | 5,5 | 6,2 | 5,1 | 5,8 | 7,0* | 6,2 | 6,0 |
| C ou BC | 4,7 | 5,7 | 8,3 | 4,7 | 5,6 | 8,0* | 6,5 | 6,5 |
| Fertilité chimique : A₁ | | | | | | | | |
| : N ‰ | 0,14 | 0,18 | 0,41 | 0,15 | 0,18 | 0,24 | 0,12 | 0,16 |
| Niveau de fertilité | — moyen à bas — | | | — bas à médiocre — | | | bas à médiocre | |
| : P ₂ O ₅ ‰ | 0,15 | 0,15 | 0,20 | 0,10 | 0,20 | 0,45 | 0,35 | 0,30 |
| Equilibre P/N | — moyen — | | | — bon — | | | — très bon — | |
| : P éch. mé/100 g | ≤ 0,15 | | | ≤ 0,2 | | | 0,2 | 0,2 |
| Niveau de fertilité | — médiocre — | | | — médiocre — | | | à peine moyen | |
| Stabilité structurale : A₁ | | | | | | | | |
| : I _s | 0,2 | 0,25 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 1,2 | 0,7 | 0,5 |
| : K cm/h | 0,7 | 0,9 | 1,7 | 0,4 | 0,9 | 1,2 | 0,7 | 0,6 |
| : Stabilité structurale | — moyenne à bonne — | | | — moyenne — | | | — moyenne — | |

* traces de CO₃Ca

formation d'une accumulation de carbonates (Horizon B_{Ca} du profil AD 40 MATAGE).

Pour la *fertilité chimique*, les équilibres P/N sont bons dans l'ensemble, mais les niveaux d'azote et de potasse sont généralement médiocres.

Dans les horizons superficiels, la *stabilité structurale* apparaît le plus souvent moyenne, mais ces résultats sont dûs en partie à la texture sableuse de ces horizons. Cependant les valeurs intéressantes de la perméabilité (K cm/h) confirment un comportement hydrique favorable de ces sols.

Extension, cartographie

Ces sols ferrugineux peu lessivés sur matériau mixte occupent des *surfaces particulièrement importantes (12,4 % du total des cartes)* et représentent le support de deux principales productions du Ouaddaï :

– *le mil dans les zones Sud*, et en particulier dans les régions d'ABOU GOULEM où les ensablements, situés en bordure des vallées, sont liés aux anciennes décharges alluviales.

– *le gommier dans les zones Nord*, et en particulier sur le haut plateau, au nord-est de GUEREDA.

Dans les régions méridionales ces sols sont dominants mais associés en toposéquence avec des sols plus lessivés et des sols hydromorphes. Dans les régions Nord et d'altitude, toujours dominants, ils sont associés à des sols ferrugineux peu évolués, lorsque les ensablements sont épais et qu'aux sommets du modelé dunaire se produisent des reprises d'érosion éolienne.

3. Les sols ferrugineux lessivés avec ou sans concrétions

Ce sont principalement des paléosols qui sont les plus fréquents sur les surfaces hautes. Ils représentent les termes amont de toposéquences dont l'aval est composé de solonetz solodisés et de vertisols. Suivant leur position sur la pente on en distingue trois types, dont deux seront plus particulièrement examinés du point de vue morphologique :

– lessivé obliquement, à accumulations discontinues en raies mais sans horizon B (ZOE 7 KOULBOUS). Ils passent latéralement aux sols hydromorphes lessivés (planosoliques) et se forment souvent sur des granites leucocrates ou même alcalins.

– lessivé, à horizon B à taches ou concrétions. De tels profils sont plus rares (AD 27 FORCHANA), et correspondent à des versants à très faible pente.

– lessivé à pseudogley de profondeur, sur matériaux issus de grès ou de granite (AD 21 BISKE).

Morphologie

— sols lessivés obliquement : Profil ZOE KOULBOUS

- Carrefour des pistes BALI-KOULBOUS. Surface ancienne à 1.000 mètres.
 - Savane arbustive dense et contractée à *Acacia mellifera*, *Dichrostachys glomerata*, *Grewia mollis*, *Boscia senegalensis*, *Dalbergia melanoxylon*, Strate herbacée à *Aristida sp.*, *Cenchrus prieurii*, *Cymbopogon giganteus*, *Microchloa indica*.
 - Produits d'altération issus de granite.
 - Surface : croûte noire continue parsemée de quelques sables.
- | | | |
|-------------|---|---|
| 0 - 16 cm | : | Horizon faiblement humifère, lessivé ; brun-jaune (10 YR 6/4 - 4/4) ; aspect strié ; sableux avec les éléments du granite en sables grossiers anguleux ; fondu à débit anguleux ; peu cohérent ; poreux ; passage distinct et régulier à : |
| 16 - 31 cm | : | Horizon lessivé faiblement humifère ; brun-jaune (10 YR 5,5/4 - 7,5 YR 4/4) ; sableux ; faible tendance polyédrique ; peu cohérent ; poreux ; passage distinct et régulier à : |
| 31 - 55 cm | : | Horizon lessivé brun-jaune (10 YR 5/4 - 7,5 YR 5/5) avec deux raies brun-rouge, sinueuses, discontinues ; sableux légèrement plus argileux ; polyédrique moyen ; peu dur ; poreux ; passage tranché, marqué par une raie et légèrement ondulé à : |
| 55 - 83 cm | : | Horizon lessivé brun-jaune clair (10 YR 6/4 - 7,5 YR 5/6) avec raies d'accumulation brun-rouge ; sableux légèrement argileux ; fondu ; peu dur ; très poreux ; passage ondulé et graduel à : |
| 83 - 100 cm | : | Horizon discontinu, en poches, fortement lessivé (A ₂), brun très clair (10 YR 7/4 - 5/5) avec des raies ; sableux ; fondu ; peu cohérent ; très poreux ; contact tranché et discontinu à : |
| vers 100 cm | : | Blocs de granite à grain moyen, à deux micas ; localement recouverts par des films argileux beige rosé, d'accumulation. |

Ce profil ne comporte donc que des horizons lessivés. Dans sa partie moyenne se réalisent des accumulations discontinues en raies, alors que la base est la plus intensément lessivée. Les revêtements argileux à la surface du granite préfigurent les horizons B d'accumulation continue qui s'observent vers l'aval à mi-pente. Certains profils de ce type ont une coloration plus claire, plus grise, déterminée par une hydromorphie temporaire, qui est elle-même créée par la formation d'horizons B colmatés à la base des horizons A₂.

— Sols lessivés à horizons B à taches et concrétions

Ils correspondent à la morphologie la plus habituelle pour les sols ferrugineux lessivés. Les horizons B d'accumulation représentent un peu moins de la moitié de l'épaisseur du profil ; ils sont colorés en brun-rouge clair ou rouge-jaune et leur structure est nettement polyédrique. Ils peuvent renfermer quelques concrétions d'hydroxydes, que l'on observe également à la base des horizons A₂, lorsque ceux-ci sont éclaircis et intensément lessivés. Ces anciens horizons B, argileux et structurés, sont fréquemment le siège d'une intense activité biologique actuelle, lorsqu'ils sont assez rapprochés de la surface par érosion des horizons lessivés supérieurs. Comme ces profils anciens, les formations végétales qui les recouvrent

correspondent à des formations reliques à caractère soudanien (*Sclerocarya birrea*, *Sterculia setigera*) dans lesquelles s'introduisent actuellement des éléments sahé-liens (*Commiphora africana*, *Acacia seyal*...).

- Sols lessivés à pseudogley profond : Profil AD 21 BISKE
 - 1,8 km est de BISKE. Altitude vers 860 mètres.
 - Haut bassin, mal drainé de l'Ouaddi KADJA, en zone granitique.
 - Jachère avec quelques arbustes : *Lannea fructicosa*, *Combretum sp.*, *Dalbergia melanoxylon*. Touffes de *Cymbopogon giganteus*.
 - Matériau sablo-argileux dérivé de granite, avec sables éoliens en surface.
 - Surface : croûte brune litée de 3 cm d'épaisseur.

- 3 - 22 cm : Horizon faiblement humifère, brun-gris foncé (10 YR 4/2 - 2/2) ; sableux avec quelques sables éolisés ; fondu à tendance polyédrique ; peu cohérent ; faiblement poreux ; passage tranché et régulier à :
- 22 - 46 cm : Horizon faiblement humifère, brun-jaune foncé (10 YR 4/4 - 7,5 YR 3/2) ; sableux légèrement argileux ; polyédrique moyen ; peu dur ; assez poreux ; passage distinct et régulier à :
- 46 - 110 cm : Horizon très faiblement humifère jusqu'à 70 cm ; brun foncé (plus rouge) (7,5 YR 4/4 - 3/2) ; sablo-argileux ; polyédrique grossier ; très dur ; assez poreux ; passage distinct et régulier à :
- 110 - 150 cm : Horizon de pseudogley ; brun-gris foncé (2,5 Y 4/2) avec ségrégations grises et rouge-jaune ; sablo-argileux ; tendance polyédrique grossier ; très dur ; assez poreux ; pas de carbonates.

Les horizons supérieurs sont peu contrastés mais les variations de texture, de structure et de consistance, traduisent des phénomènes de lessivage et d'accumulation qui peuvent être eux-mêmes à l'origine du pseudogley de profondeur.

Ces sols représentent soit, dans les toposéquences, des termes de passage aux sols hydromorphes (planosoliques), soit, lorsqu'ils dominent dans le paysage comme dans la région de BISKE, une unité liée à un drainage régional déficient.

Leur morphologie est analogue lorsqu'ils sont formés sur des produits issus de grès ou bien de granite.

Caractères analytiques (cf. tableau 16, page 78)

Les données analytiques de 10 profils de sols ferrugineux lessivés ont été regroupées dans le tableau 16 sous trois rubriques :

- les sols lessivés obliquement sans horizons B (Profil A₁-A₂b (raies)-C) ;
- les sols lessivés à profil ABC avec ou sans concrétions, avec ou sans pseudogley ;
- un profil formé sur grès avec horizon B argileux à concrétions.

Tableau 16 :
Sols ferrugineux tropicaux lessivés avec ou sans concrétions

| TYPE DE PROFIL | Sur produits issus de granite | | | | | | Sur produits issus de grès | | | |
|--|--|---------------------|----------------|--|----------------------|------|---------------------------------------|-------------|------|------|
| | A ₁ A ₂ (b raies) - C Sols profondément lessivés obliquement B généralement inexistant dans le profil ou en films argileux sur C. Souvent à raies | | | A - B - C B argileux avec ou sans concrétions avec ou sans pseudogley | | | A - B - C B argileux à concrétions | | | |
| | (1) | 4 profils (A mont) | | (2) | 5 profils (A val) | | (3) 1 profil | | | |
| | | Mini | Md | Maxi | Mini | Md | Maxi | | | |
| Matière organique | | | | | | | | | | |
| C ‰ dans A ₁₁ (0-20 cm) | | 1,2 | 2,5 | 2,9 | 2,7 | 3,3 | 4,2 | 2,2 | | |
| dans A ₁₂ (vers 20-40 cm) | | 0,9 | 1,3 | 1,5 | 1,3 | 2,4 | 3,6 | 1,7 | | |
| C/N dans A ₁₁ | | 9,0 | 9,4 | 11,6 | 8,7 | 11,4 | 14,5 | 9,2 | | |
| dans A ₁₂ | | 6,9 | 8,0 | 9,4 | 7,5 | 11,0 | 16,4 | 9,4 | | |
| Argile % | (1) | (2) et (3) | | | | | | | | |
| A ₁₁ | A ₁ | 2,5 | 5,5 | 6,0 | 2,0 | 4,5 | 8,8 | 7,5 | | |
| A ₁₂ ou A ₂ | A ₂ | 5,0 | 9,0 | 11,0 | 5,5 | 9,5 | 12,5 | 9,5 | | |
| A ₂ ^b raies | B | 3,5 | 6,0 | 12,0 | 9,0 | 13,5 | 22,5 | 27,0 | | |
| | C ou BC | 8,5 | 9,5 | 32,0 | 9,0 | 16,0 | 30,5 | 9,0 | | |
| Fer total ‰ | A ₁₁ | A ₁ | A ₁ | 6,6 | 11,0 | 14,3 | 8,8 | 14,4 | 22,4 | 12,8 |
| | A ₁₂ ou A ₂ | A ₂ | A ₂ | 7,2 | 11,9 | 15,2 | 11,8 | 19,2 | 27,0 | 13,8 |
| | A ₂ ^b raies | B | B | 6,8 | 10,5 | 13,9 | 17,2 | 20,8 | 43,0 | 90,6 |
| | | C ou BC | C ou BC | 11,9 | 16,4 | 26,2 | 23,6 | 36,2 | 39,0 | 22,8 |
| T mé/100 g | A ₁₁ | A ₁ | A ₁ | 2,7 | 3,6 | 3,7 | 2,7 | 3,8 | 6,9 | 2,5 |
| | A ₁₂ ou A ₂ | A ₂ | A ₂ | 1,0 | 3,9 | 4,7 | 2,5 | 3,4 | 8,7 | 3,4 |
| | A ₂ ^b raies | B | B | 1,1 | 2,4 | 4,8 | 3,7 | 6,2 | 11,7 | 5,8 |
| | | C ou BC | C ou BC | 2,7 | 6,2 | 11,9 | 3,4 | 7,6 | 17,7 | 2,8 |
| V % | A ₁₁ | A ₁ | A ₁ | 72 | 80 | 87 | 25 | 71 | 91 | 32 |
| | A ₁₂ ou A ₂ | A ₂ | A ₂ | 57 | 80 | 83 | 40 | 76 | 93 | 17 |
| | A ₂ ^b raies | B | B | 61 | 81 | 100 | 60 | 82 | 100 | 41 |
| | | C ou BC | C ou BC | 83 | 87 | 100 | 76 | 88 | 100 | 35 |
| pH | A ₁₁ | A ₁ | A ₁ | 5,3 | 6,1 | 6,5 | 5,5 | 6,0 | 6,6 | 5,3 |
| | A ₁₂ ou A ₂ | A ₂ | A ₂ | 5,1 | 6,1 | 6,4 | 5,0 | 5,7 | 6,2 | 5,0 |
| | A ₂ ^b raies | B | B | 5,4 | 5,9 | 7,6 | 5,2 | 5,7 | 6,7 | 5,1 |
| | | C ou BC | C ou BC | 5,9 | 6,5 | 8,0 | 5,8 | 6,5 | 6,9 | 5,1 |
| Fertilité chimique : A₁ | | | | | | | | | | |
| : N ‰ | | 0,13 | 0,25 | 0,29 | 0,23 | 0,29 | 0,35 | 0,24 | | |
| Niveau de fertilité | | - médiocre à bas - | | | - médiocre à moyen - | | | - bas - | | |
| : P ₂ O ₅ ‰ | | 0,12 | 0,17 | 0,20 | | 0,25 | | 0,27 | | |
| Equilibre P/N | | - moyen - | | | - bon - | | | - bon - | | |
| : K éch. mé/100 g | | 0,1 | 0,15 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | < 0,1 | | |
| Niveau de fertilité | | - médiocre - | | | - médiocre - | | | - bas - | | |
| Stabilité structurale : A₁ | | | | | | | | | | |
| : I _s | | 0,5 | 0,8 | 1,4 | | 1,0 | | 0,4 | | |
| : K cm/h | | 0,6 | 0,6 | 0,9 | | 0,8 | | 0,6 | | |
| : Stabilité structurale | | - à peine moyenne - | | | - moyenne - | | | - moyenne - | | |

Les teneurs en *matière organique* sont relativement plus élevées que dans les sols ferrugineux peu lessivés et l'on note une augmentation du rapport C/N pour les profils les moins bien drainés.

Dans les profils lessivés obliquement il est manifeste que les taux *d'argile, de fer et de cations* diminuent vers la base des horizons A₂, où dominent les migrations latérales.

Dans les profils de type ABC, le contraste entre les horizons lessivés et d'accumulation est important pour l'argile et le fer, mais les variations sont généralement progressives et les horizons A₂ sont moins exprimés.

Les valeurs de *pH* et de *saturation* varient très irrégulièrement. Il semble que les profils les plus différenciés et les plus anciens accusent les pH les plus acides en profondeur.

Fertilité chimique et stabilité structurale apparaissent analogues à celles des sols ferrugineux peu lessivés : les équilibres P/N sont bons alors que les niveaux d'azote et de potasse sont médiocre sinon franchement bas dans les profils sur grès ; les autres caractéristiques physiques sont moyennes.

Extension, cartographie

Les *sols ferrugineux lessivés* ont été principalement cartographiés comme *dominants dans une unité qui regroupe les autres termes de leurs toposéquences* : sols hydromorphes lessivés, solonetz solodisés, vertisols. Cette unité caractérise la surface moyenne de 600 à 800 m, lorsque celle-ci est peu disséquée par l'érosion, en particulier à l'est et au sud d'ABOU GOULEM. Mais cette unité se retrouve également à l'ouest et au nord de GUEREDA, où elle occupe alors la surface ancienne vers 1.000 m d'altitude. Elle recouvre en tout 7,7 % de la surface totale des cartes.

Les *sols ferrugineux lessivés à pseudogley* n'ont été cartographiés que sur une faible surface (0,3 % des cartes) dans le bassin mal drainé de l'Ouadi KADJA à l'ouest d'ADRE, où ils sont associés à des solonetz solodisés.

4. Les conditions d'utilisation de l'ensemble des sols ferrugineux tropicaux

D'une façon générale, les sols ferrugineux tropicaux ont un *profil hydrique intéressant* parce qu'économique, du fait de leur texture sableuse sur une épaisseur importante ; ils sont en effet susceptibles de stocker l'eau des pluies à une profondeur suffisante pour la mettre à l'abri de l'évaporation directe et la conserver ainsi à la disposition des végétaux qui peuvent descendre leurs racines sans difficultés, vu la texture et la structure des profils.

En contrepartie de cette propriété, fondamentale eu égard aux conditions climatiques sévères, un certain nombre *d'inconvénients* sont liés au caractère sableux

des profils et sont d'autant plus accusés que ce caractère sableux l'est lui-même : *stock organique* très insuffisant ; *pauvreté chimique* générale en rapport avec un complexe absorbant très modeste, niveau très bas de réserves minérales... Ces caractères — stock organique mis à part — sont également plus accusés pour les sols anciens héritant d'un fort lessivage. La conclusion normale de ces considérations serait donc de rechercher, pour l'exploitation, les situations de compromis : sols moins strictement sableux, moins intensément et profondément lessivés.

Les *cultures possibles* sont avant tout les *mils Pennisetum* — déjà bien cultivés — et *l'arachide*. Ces cultures connaissent elles-mêmes des limites climatiques et deviennent très aléatoires en-dessous de 400-500 mm de pluviométrie annuelle.

Avec quelques sols *isohumiques de texture légère* et mis à part les sols peu évolués sur alluvions dont les possibilités sont beaucoup plus diversifiées, les sols ferrugineux tropicaux n'en restent pas moins les terres qui représentent partout les *chances de succès les plus grandes pour pratiquer ces cultures pluviales*.

Cependant, les *potentialités agricoles peuvent différer sensiblement suivant les trois unités principales de sols ferrugineux* qui ont été distingués :

- les *sols non ou peu lessivés*, sur formations éoliennes récentes, sont à éviter ; excessivement sableux, les plus pauvres, leur potentiel est très bas et ils sont en outre fragiles, susceptibles d'érosion éolienne, surtout dans le nord de la région.
- les *sols peu lessivés sur sables éoliens à éléments d'arène granitique* représentent une unité de grand intérêt, tant pour les surfaces qu'ils couvrent — généralement en grands ensembles — que pour leurs possibilités : ils peuvent faire d'excellents sols à culture dans le sud ; en plus, sur la totalité de leur extension, on observe fréquemment des *Acacia senegal*, et il semble bien qu'ils seraient susceptibles de porter des gomméraires très correctes, si des mesures de protection étaient respectées pour permettre aux peuplements de se développer.
- les *sols lessivés anciens*, en état d'équilibre instable, ne doivent être exploités qu'avec des précautions très rigoureuses ; un débroussement et une utilisation inconsidérés sur de grandes surfaces risqueraient de faire apparaître des processus d'érosion extrêmement puissants. Ces sols sont d'ailleurs généralement traités en billons convenablement orientés, dans les cultures traditionnelles observées.

Enfin, toute exploitation de sols ferrugineux tropicaux apparaît imprudente et vouée à des diminutions de rendement à court terme, si elle ne comporte pas de restitution organique (résidus de culture, jachère protégée, fumier) et si elle ne prévoit pas très rapidement une fumure minérale (NPK) à préciser par l'expérimentation.

V. LES SOLONETZ SOLODISÉS

Ces sols sont peu fréquents dans le massif proprement dit du Ouaddaï, où ils n'occupent que de faibles étendues sur les surfaces les plus élevées. En revanche ils apparaissent et domineront vers l'ouest sur les bas glacis de la Cuvette tchadienne, où ils sont dénommés «naga».

Ce sont des sols halomorphes dont la richesse en sodium de l'horizon B provoque une dégradation de la structure qui devient massive, diffuse. Ces sols sont lessivés et leurs horizons B sont le siège d'accumulations d'argile, d'hydroxydes, aussi bien que de carbonates, de sodium, et même de matière organique.

Leur morphologie est caractérisée par la structure en colonnes, à sommet arrondi, de leur horizon B supérieur, argileux et très consistant, et par leur horizon A₂, sableux, de couleur claire et de très faible consistance, qui surmonte, et pénètre entre les colonnes, l'horizon B.

Ces sols occupent deux positions dans le paysage :

— soit la base des glacis sur roche granitique. Ce sont les termes aval — avec les vertisols — des toposéquences à sols ferrugineux lessivés à l'amont. Ils correspondent alors à une différenciation pédologique latérale à l'échelle du paysage et l'accumulation de sodium dans le profil se relie à l'altération de la roche-mère. Ces solonetz solodisés sont dénommés lithomorphes.

— soit les plaines alluviales ou les bordures de celles-ci. Les solonetz solodisés sont alors associés — à l'échelle du micromodelé — à des vertisols hydromorphes et l'accumulation du sodium peut se réaliser à partir de nappes alluviales temporaires. Dans ce cas, ils sont dénommés hydromorphes.

Mais leurs caractères morphologiques et analytiques sont analogues et ils conservent le même type de différenciation. Il en est de même lorsque leurs matériaux originels varient des roches granitiques (AD 5 GARGOUNYOU - AD 83 ABOU GOULEM - ZOE 4 AM NABAK - ZOE 221 GUEREDA) aux roches gréseuses (AD 12 ADRE).

Morphologie : Profil AD 12 ADRE

- 11,3 km nord-est d'ADRE. Altitude 850 mètres.
- Légère dépression sur le plateau d'ADRE. Position basse en bordure d'une mare temporaire.
- Savane arbustive très clairsemée à *Lannea humilis*, *Boscia senegalensis* ; en surface des touffes isolées de *Microchloa indica*.
- Matériau sablo-argileux dérivé de grès paléozoïques.
- Surface plane avec sables déliés.

- 0 - 8 cm : Horizon faiblement humifère, lessivé, gris (10 YR 5,5/1 - 3/2), finement taché de rouge ; sableux ; fondu à tendance lamellaire peu dur ; compact ; passage tranché et régulier à :
- 8 - 19 cm : Horizon très faiblement humifère, plus lessivé, brun pâle (10 YR 5,5/3 - 4/2) moins taché ; sableux ; fondu à débit irrégulier ; peu dur ; faiblement poreux ; passage tranché et régulier à :
- 19 - 20 cm : Horizon très lessivé et clair, brun-jaune clair (10 YR 6/4 - 2,75 YR 4/4) ; sableux ; particulière ; passage très tranché et ondulé à :
- 20 - 40 cm : Horizon en colonnes, d'accumulation d'hydroxydes et d'argile ; colonnes recouvertes par une croûte gris clair à porosité vésiculaire, très dure ; colonnes brun à brun-jaune sombre (8,75 YR 4/4) avec nombreuses ségrégations

rouges et noires à la partie supérieure ; vers la base revêtements argileux bruns ; sableux légèrement argileux ; structure colonnaire grossière à débit cubique à la base ; extrêmement dur ; compact ; passage distinct et régulier à :

- 40 - 60 cm : Horizon d'accumulation d'argile, brun (10 YR 4/3), sablo-argileux ; tendance cubique puis polyédrique ; très dur ; compact ; passage tranché et assez régulier à :
- 60 - 130 cm : Horizon d'accumulation de carbonates sous forme de pseudomycelium, puis passage au matériau ; brun-gris sombre (10 YR 4/2) ; sablo-argileux ; polyédrique moyen puis massif ; très dur ; compact à faiblement poreux.

Dans son ensemble cette morphologie se retrouve fidèlement dans les divers profils étudiés, qu'ils soient lithomorphes ou hydromorphes, dérivés de granites ou de grès. Cependant, on relève un certain nombre de variations morphologiques qui concernent :

— l'épaisseur des horizons supérieurs lessivés. Ceux-ci peuvent atteindre 55 cm (AD 5 GARGOUNYOU) par des apports sableux éoliens, mais le plus souvent ils sont réduits par l'érosion hydrique et les horizons B colonnaires peuvent être amenés en surface (AD 83 ABOU GOULEM).

— la différenciation de ces horizons lessivés. Ils peuvent être plus ou moins intensément marqués par l'hydromorphie (ZOE 221 GUEREDA). A leur base les horizons A₂ sont variablement blanchis et particuliers.

— le développement et les dimensions de la structure colonnaire des horizons B, qui peut passer à massive (ZOE 221 GUEREDA).

— la profondeur à laquelle débute l'accumulation diffuse de carbonates (cf. figure 14, page 85).

Caractères analytiques

Les données analytiques présentées dans les tableaux 17 (page 83) et 18 (page 84) et les graphiques de la figure 14 (page 85) montrent d'abord des *profils texturaux* avec une brusque augmentation de la teneur en argile au sommet des horizons B. Le contraste avec les horizons supérieurs sableux est d'autant plus fort que fréquemment la base des horizons A₂ est la plus lessivée et la plus sableuse. Cette variation serait due à la migration latérale des particules les plus fines à la base de l'A₂, en raison de l'imperméabilité des horizons B, qui présentent toujours une certaine pente.

Les taux de *matière organique*, (tableau 18, page 84) sont relativement élevés ($C_{0/00} > 3,5$) dans les horizons lessivés eu égard à leur texture ; ils sont en effet sensiblement plus importants que dans les horizons humifères de texture comparable de sols ferrugineux tropicaux. Les C/N sont assez constants (voisins de 10) bien que l'hydromorphie affecte souvent ces horizons superficiels. On constate par ailleurs que les teneurs en matière organique — comme celle de l'argile — peuvent décroître à la base des horizons A₂ pour augmenter de nouveau au sommet des horizons B où elles indiqueraient une accumulation organique.

Les caractères et les variations du *complexe absorbant* (tableau 17, page 83) apparaissent très significatifs de la pédogenèse de ces profils : les horizons

Tableau 17 : SOLONETZ SOLODISES - Regroupement des données analytiques

| | | Argile % | T mé/100 g | V % | pH eau | Na/T % | Stabilité structurale |
|---|---|---------------------------|-------------------|--------------|----------------|--------------------|---------------------------|
| LITHOMORPHES sur produits d'altération issus de granite 6 profils | Horizon humifère lessivé A ₁ n = 5 (1) | (2) 5,0 9,5 7,0 (3) | 3,8 5,9 4,5 | 57 100 70 | 5,7 6,3 6,0 | négligeable | médiocre à moyenne |
| | Base des horizons lessivés épais A ₂ n = 3 | 6,5 19,0 11,5 | 6,5 11,5 9,2 | 59 85 84 | 5,7 6,2 6,2 | 0 5 négligeable | mauvaise à médiocre |
| | Sommet du B (généra- lement : colonnes) n = 6 | 16,0 33,5 30,0 | 8,3 18,5 15,0 | 76 100 86 | 5,8 7,4 6,6 | 3 18 9 | très mauvaise |
| | B (Co ₃ Ca, Na) n = 6 | 23,0 32,5 28,0 | 11,4 22,1 16,8 | 100 100 | 8,3 9,0 8,5 | 4 22 10 | très mauvaise |
| HYDROMORPHE sur alluvion 1 profil (4) | Sommet du B | 32,5 | 13,5 | 100 | 6,8 | négligeable | (non mesurée) |
| | B (Co ₃ Ca, Na) | 35 | 17,5 | 100 | 8,7 | 11 | (non mesurée) |
| HYDROMORPHE sur produits SA issus de grès 1 profil | A ₁ | 7,0 | 3,6 | 77 | 5,6 | négligeable | (non mesurée) |
| | A ₂ | 2,0 | 2,1 | 62 | 6,0 | — | (non mesurée) |
| | Sommet du B | 12,8 | 6,6 | 83 | 6,8 | 18 | (non mesurée) |
| | B (Co ₃ Ca, Na) | 19,5 | 9,6 | 100 | 9,0 | 15 | (non mesurée) |

(1) Nombre de profils (un des profils a ses horizons lessivés totalement érodés)

(2) Extrêmes

(3) Médiane

(4) Horizons lessivés totalement érodés.

lessivés sont désaturés et les pH y sont acides (5,6 à 6,2) ; le sommet des colonnes est légèrement désaturé et acide (pH = 6,8) alors que les horizons B immédiatement sous-jacents – à accumulation d'argile puis de carbonates – deviennent saturés, alcalins puis très alcalins (pH = 9,0) en profondeur.

Les taux de sodium échangeable, particulièrement faibles dans les horizons lessivés, augmentent rapidement dans les horizons B où ils représentent plus de 10 % de la capacité d'échange. Le calcium demeure le cation dominant du complexe absorbant.

La *fertilité chimique* potentielle de ces solonetz solodisés est médiocre à moyenne par déficience en acide phosphorique et en potasse. Leurs stabilités structurales sont médiocres à mauvaises en surface et deviennent très mauvaises en profondeur par la présence de sodium.

Tableau 18 :
SOLONETZ SOLODISÉS : Horizons de surface

| | Lithomorphes sur produits d'altération issus de granite | | | Hydromorphe sur alluvion | Hydromorphe s/produits SA issus de grès avec horizons lessivés | |
|--------------------------------------|---|------|--------------------------------------|--------------------------------------|--|----------|
| | avec horizons lessivés | | B amené en surface par érosion | B amené en surface par érosion | | |
| | 5 profils | | | | | |
| | Mini | Md | Maxi | 1 profil | 1 profil | 1 profil |
| Argile % | 5,0 | 7,0 | 9,5 | 28 | 32,5 | 7,0 |
| C ‰ | 2,1 | 3,3 | 5,1 | 4,8 | 3,8 | 4,9 |
| C/N | 9,6 | 10,3 | 11,3 | 11,2 | 10,0 | 12,2 |
| pH eau | 5,7 | 6,0 | 6,3 | 6,7 | 6,8 | 5,6 |
| N ‰ | 0,22 | 0,34 | 0,48 | 0,43 | 0,38 | 0,39 |
| Niveau de fertilité | – moyen – | | – moyen – | – médiocre – | – moyen – | |
| P ₂ O ₅ ‰ | 0,10 | 0,15 | 0,20 | / | / | / |
| Niveau P ₂ O ₅ | – médiocre – | | | | | |
| K mé/100 g | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,1 | 0,3 |
| Niveau K | – médiocre – | | – moyen – | – médiocre – | | |
| Stabilité structurale | mauvaise à médiocre | | / | / | / | |

Conditions d'utilisation

Ce sont les caractères physiques qui limitent le plus gravement l'utilisation de ces sols. Du fait de l'imperméabilité et de l'instabilité structurale des horizons B, le régime hydrique est en effet superficiel et déficitaire. La pénétration des eaux pluviales ne dépasse guère le sommet des horizons B, et il n'y a pas de constitution de réserves hydriques, mais néanmoins engorgements superficiels

1. LITHOMORPHES SUR PRODUITS D'ALTERATION ISSUS DE GRANITE

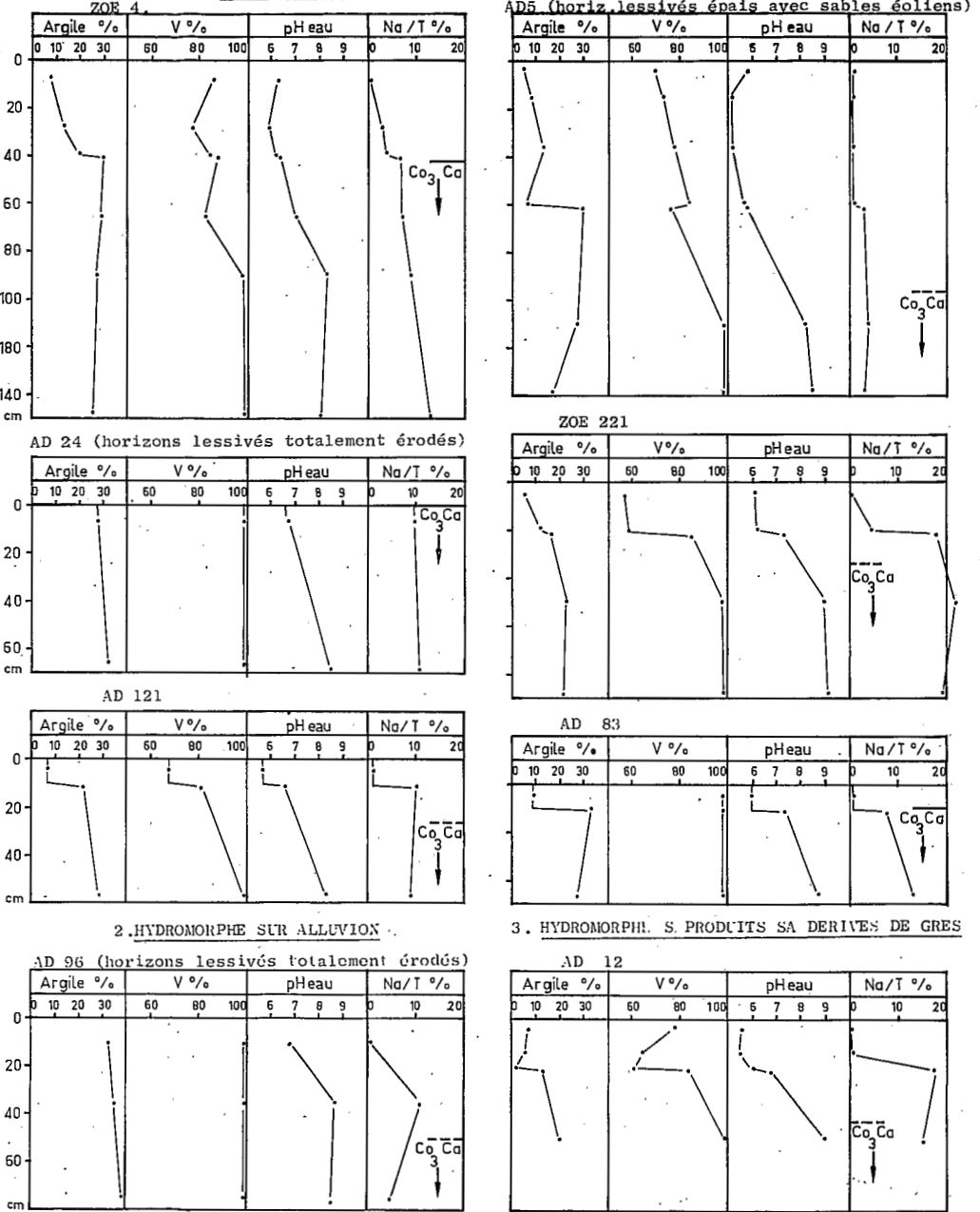


Figure 14

SOLONETZ SOLODISES :
caractérisation analytique

temporaires dans les horizons lessivés peu épais. D'autre part, ces horizons B columnaires forment un niveau d'arrêt à la pénétration des racines par leur compacité et leur dureté.

Lorsque les horizons B sont amenés en surface par érosion des horizons lessivés, le régime hydrique est encore plus déficitaire et contrasté.

Ainsi, ces sols n'ont *aucune utilisation agricole* actuelle et ne présentent qu'un *faible intérêt pastoral* en servant de terrain de parcours au bétail en transhumance. Mais il convient d'en préserver le couvert végétal afin d'éviter une reprise des processus d'érosion qui jouent déjà de façon constante et souvent intense, dans leur équilibre actuel.

Extension, cartographie

Les solonetz solodisés sont principalement localisés :

- vers la base des versants et dans les plaines alluviales des ouaddis KEREKIR, KADJA et HAMRA.
- sur le bas glacis de la Cuvette tchadienne où ils sont associés à des lithosols avec des sols régiques ferrugineux au sud et subarides au nord.

A la base des versants granitiques ils peuvent être en association avec divers sols régiques ou même ferrugineux lessivés et vertisols lithomorphes.

Dans les plaines alluviales et notamment dans celle de l'Ouaddi HAMARA ils ont été cartographiés avec des sols peu évolués hydromorphes ou bien avec des vertisols hydromorphes selon la texture des alluvions.

Le total des unités cartographiques dans lesquelles entrent des solonetz solodisés représente 8,3 % des cartes dont 1,8 % en unité pure, et *la surface réelle qu'ils couvrent est estimée à 5 % de la région étudiée.*

VI. LES VERTISOLS

Ce sont des sols argileux dès la surface, qui sont localisés — comme les solonetz solodisés — soit dans les toposéquences à la base des glacis granitiques (vertisols lithomorphes), soit dans les plaines basses sur des alluvions argileuses (vertisols hydromorphes).

Ces sols, dénommés «Berbéré» dans d'autres régions du Tchad, sont caractérisés par un profil homogénéisé ou irrégulièrement différencié par suite de mouvements internes dûs à la présence d'argiles gonflantes. Ces mouvements internes se traduisent aussi par la formation, à la surface du sol, d'un micro-modelé en buttes et dépressions (modelé «Gilgai»).

Vertisols lithomorphes et hydromorphes peuvent présenter chacun des structures superficielles différentes :

- soit un début de structure fine en surface (AD 16bis BREGE - ZOE 206 AM NABAK - ZOE 215 AM NABAK) ;
- soit une structure large dès la surface (AD 27 - AD 114 FORCHANA - ZOE 284 GUEREDA).

Les profils de vertisols étudiés dans cette région sont toujours dérivés de produits granitiques et montrent une accumulation de carbonates en profondeur.

Morphologie : Profil AD 16bis BREGE

- 4,5 km nord-est de BREGE. Altitude 860 mètres.
 - Base d'un versant granitique vers l'Ouaddi KADJA. Pente voisine de 1 %.
 - Bois armé à *Acacia seyal*, *Anogeissus leicarpus*, *Dichrostachys glomerata* ; tapis irrégulier de *Schoenefeldia gracilis*.
 - Matériau argilo-sableux dérivé de granite.
 - Surface avec léger modelé «Gilgai» et polygonation superficielle. Localement, croûte litée avec taches rouge-jaune liées aux pores racinaires.
- 0 - 8 cm : Horizon faiblement humifère, à structure fine ; brun-gris foncé (10 YR 4/2 - 3/2) ; argilo-sableux avec graviers quartzeux et feldspathiques ; sur-structure prismatique marquée par un réseau de fentes de retrait, espacées de 20 à 40 cm, larges de 1 cm, et profondes jusqu'à 45 cm ; agrégation élémentaire de type cubique à polyédrique de taille irrégulière (0,5 à 3 cm), fortement développée ; extrêmement dur ; agrégats compacts ; non calcaire ; passage tranché légèrement ondulé à :
- 8 - 47 cm : Horizon très faiblement humifère, brun-gris foncé (10 YR 4/2 - 3/2) ; argilo-sableux plus riche en graviers ; prismatique très grossier fortement développé ; extrêmement dur ; compact ; non calcaire ; passage tranché et ondulé à :
- 47 - 70 cm : Horizon d'accumulation de carbonates et passage au matériau ; brun-gris foncé, plus olive (2,5 Y 4/2) ; avec de petits amas calcaires gris, cimentés, assez nombreux ; argilo-sableux avec graviers ; structure bien développée en plaquettes obliques avec larges faces patinées striées ; extrêmement dur ; compact.

Morphologiquement, ce profil se caractérise donc par :

- une coloration homogène et assez foncée,
- une séquence de structure : prismatique à sous-structure cubique et polyédrique en surface, ensuite prismatique très grossière, puis en plaquettes obliques à la base.
- un début de nodulation calcaire en profondeur.

La principale variation morphologique observée est l'absence de structure fine en surface, qui se relie ou non à l'érosion des horizons superficiels. On note également la présence plus fréquente de taches dans l'horizon supérieur des

vertisols hydromorphes, mais d'une manière générale ces vertisols du Ouaddaï ne présentent pas le phénomène de gleyification des horizons de surface, qui est si généralisé dans les vertisols des régions méridionales du Tchad.

Caractères analytique (cf. tableau 19, page 89)

Les cinq profils analysés représentent la gamme de ces variations morphologiques, mais il n'apparaît aucune différence analytique permettant de distinguer les vertisols lithomorphes ou hydromorphes, à structure superficielle fine ou grossière.

Les *profils texturaux* sont généralement homogènes et argilo-sableux. Mais l'on observe aussi des profils dont les horizons supérieurs sont moins argileux : ceci correspond soit à un horizon remanié (vertisols lithomorphes), soit à une variation du dépôt alluvial (vertisols hydromorphes). Le profil le plus argileux (40 % d'argile) correspond à un vertisol hydromorphe sur alluvion. Les teneurs en limon (0 à 50 μ) sont comparables (16 à 20 %) sur matériau granitique ou alluvial.

Les *taux de C^o/100* ne sont pas élevés en regard des teneurs en argile, ce qui est bien un caractère vertisolique ; les C/N restent inférieurs ou égaux à 14 : les valeurs les plus élevées semblent correspondre aux vertisols hydromorphes.

En ce qui concerne la *capacité d'échange* et le *coefficient de saturation* les précisions suivantes doivent être apportées au tableau 19 :

— si les capacités d'échange maxima observées sont 43 et 46 mé/100 g, ceci correspond à un profil sur alluvion (avec 40 à 43 % d'argile) ; toutes les autres valeurs sont inférieures à 27 mé/100 g.

— tandis qu'en profondeur la saturation est la règle, on observe seulement deux profils sur cinq saturés en surface ; ceci correspond à des profils également carbonatés en surface.

La *carbonatation* est constante en profondeur et donc assez fréquente en surface ; l'alcalinisation est exceptionnelle en surface et toujours faible ; elle est très fréquente en profondeur mais rarement très prononcée (le plus souvent Na/T est compris entre 6 et 8 %).

Les *pH* sont fonction de la saturation, de la carbonatation et de l'alcalinisation :

— les pH inférieur à 7,0 (2 fois sur 5 en surface) correspondent à des horizons non saturés, non carbonatés, non alcalinisés.

— avec des quantités notables de carbonates ils dépassent toujours 8,0 et peuvent atteindre 8,4 sans alcalinisation comme avec des alcalinisations moyennes.

— ils dépassent 9,0 lorsque Na/T est supérieur à 10 %.

Ces sols n'ont qu'un *niveau de fertilité chimique* potentielle médiocre, du fait de leurs faibles teneurs en azote, mais ils sont très bien pourvus en acide phosphorique total et moyennement en potasse échangeable.

Tableau 19 :
Vertisols lithomorphes et hydromorphes

| | Surface | | | Base du profil | | |
|---------------------------------|--|------|------|--|-----|------|
| | Mini | Md | Maxi | Mini | Md | Maxi |
| Argile % | 20 | 25 | 40 | 33 | 37 | 43 |
| C ‰ | 4,3 | 4,6 | 5,3 | | | |
| C/N | 11,2 | 12,2 | 14,3 | | | |
| T mé/100 g | 15 | 19 | 43 | 24 | 27 | 46 |
| V % | 88 | 97 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| pH | 6,5 | 7,0 | 8,2 | 8,4 | 8,4 | 9,1 |
| Na/T % | négligeable 4 fois/5 1 valeur : 5 % | | | 0,4 | 8 | 11 |
| | | | | 4 fois/5 sup. à 6 | | |
| Présence de carbonate : | | | | | | |
| Nombre de cas | | 3/5 | | | 5/5 | |
| N ‰ | 0,30 | 0,41 | 0,46 | | | |
| Niveau de fertilité | — médiocre — | | | | | |
| P ₂ O ₅ ‰ | 0,5 | 0,6 | 1,4 | | | |
| Niveau réserve P | — très bon — | | | | | |
| K éch. mé/100 g | 0,3 | 0,3 | 0,4 | | | |
| Niveau potassique | — moyen — | | | | | |
| I _s | 1,7 | 2,9 | 3,3 | 2,2 | 5,6 | 6,0 |
| K cm/h | 0,8 | 1,9 | 2,6 | 0,1 | 0,2 | 2,2 |
| Stabilité structurale | moyenne à médiocre | | | — très mauvaise — (1 fois seulement médiocre) | | |

La stabilité structurale est moyenne — parfois médiocre — en surface et il semble que les sols à structure fine superficielle ont une stabilité légèrement supérieure, en particulier des valeurs de perméabilité plus élevées ; en profondeur, à part le cas du sol non alcalinisé où la stabilité structurale reste médiocre, elle devient dans tous les autres cas, mauvaise à très mauvaise.

Conditions d'utilisation

Sans autre apport d'eau que la pluie, ces vertisols sont écologiquement trop secs pour envisager leur exploitation agricole ; le stockage de l'eau est en effet réalisé sur de faibles épaisseurs, d'où des pertes importantes par évaporation et un dessèchement toujours rapide.

Irrigués — mais les possibilités d'irrigation sont minces, à part quelques sols sur alluvions — ils seraient susceptibles de produire en particulier du sorgho, du maïs ou du blé ; les sols à structure fine superficielle devraient avoir la préférence, sans exclure pour autant les autres.

Dans les zones naturellement inondées de vertisols hydromorphes et en particulier dans le sud de la région, le sorgho de décrue doit pouvoir être pratiqué avec succès. Des aménagements artisanaux (barrage en terre, digues) dans des sites favorables devraient permettre d'étendre cette possibilité, voire même à des vertisols lithomorphes. De telles techniques de barrage pourraient peut-être aussi permettre l'irrigation en bordure de certains talwegs, où elle n'est pas actuellement possible.

Pour les sols où les pH sont très élevés, surtout dès la surface, on doit craindre des blocages de la mise à disposition d'azote par voie biologique et surtout des carences d'oligo-éléments.

Toute culture un peu intensive, en cas d'irrigation en particulier, doit prévoir une fumure azotée dans les meilleurs délais, et à terme une fumure plus complète à préciser par l'expérimentation.

Extension, cartographie

Comme les solonetz solodisés, avec lesquels ils sont les plus fréquemment associés, les vertisols ont deux localisations principales :

- les surfaces anciennes sur roches granitiques où ils représentent les termes aval des toposéquences,
- les surfaces alluviales récentes comme celles de l'Ouaddi HAMARA, lorsque la texture des alluvions est argileuse.

Le total des associations cartographiques dans lesquelles entrent les vertisols (entièrement situées dans la partie sud de la zone étudiée) ne représente que 1,7 % de l'ensemble des cartes et leur surface propre n'est estimée qu'à 0,7 % en tout.

Dans le nord on n'observe que rarement des vertisols, qui n'ont pas été cartographiés : ils sont généralement associés en faible proportion et à l'échelle du micromodèle, aux sols bruns subarides sur roches basiques, parfois à des sols régiques à faciès brun sur granite.

CONCLUSIONS

I. PÉDOGENESE — DISTRIBUTION DES SOLS

Les pédogenèses récentes et actuelles sont caractérisées par des actions superficielles d'érosion et de sédimentation (tectonique de soulèvement et climat très contrasté) et par la faible profondeur des différenciations (régimes hydriques peu profonds liés au déficit hydrique du climat). Dans ces conditions, la nature et les caractères des matériaux originels ont une importance prépondérante pour orienter les différenciations qui restent de faible intensité.

A ce titre, le facteur historique joue un rôle déterminant et tout spécialement une couverture pédologique ancienne, plus humide, qui a largement marqué la région sur ses surfaces granitiques s.l. Cette différenciation ancienne est caractérisée par la toposéquence : sols ferrugineux tropicaux lessivés à l'amont, sols hydromorphes lessivés, solonetz solodisés et enfin vertisols vers l'aval. Cette toposéquence peut être conservée, plus ou moins diversement tronquée et remaniée, détruite. Les cartes et les associations cartographiques expriment ces combinaisons de paléosols, sols polyphasés, sols régiques d'érosion.

Ces combinaisons sont complexes mais cependant ordonnées suivant les quatre grandes surfaces du modelé qui ont été reconnues et qui portent des sols d'âge différent : les surfaces les plus hautes, les plus anciennes portent des associations comprenant des sols anciens conservés tandis que sur les surfaces les plus basses, les plus récentes, dominent des sols polyphasés et surtout des sols régiques.

Trois éléments diversifient et complètent ce schéma général :

- du fait, d'une part, du plus fort déphasage et de la plus grande sensibilité aux remaniements des termes éluviaux amont des toposéquences ; d'autre part de la différenciation pédologique latérale de ces toposéquences sur chaque surface, les termes les plus élevés sont les plus récents, à l'inverse de l'âge des surfaces les unes par rapport aux autres ;

- entre les parties sud et nord de la région, la composition des anciennes toposéquences enregistre l'effet du gradient climatique, avec développement des termes lessivés à kaolinite au sud et dominance des termes plus arides à montmorillonite au nord ;

- localement les caractères particuliers de certains matériaux originels et la présence d'autres héritages anciens forment accident dans ce schéma de distribu-

tion : présence de sols bruns subarides liée à des roches basiques ; surfaces résiduelles de cuirasse ferrugineuse ; «altération particulière» ancienne du socle au contact des grès paléozoïques.

II. CONDITIONS D'UTILISATION DES SOLS

Le potentiel proprement agricole de la région connaît d'abord deux limites qui ne sont pas liées à la nature et aux caractères des sols :

— les *conditions climatiques* limitent en latitude les possibilités de culture pluviale. On voit couramment du *mil* cultivé, pour les besoins de la population et avec un inégal succès, jusqu'à l'isohyète 350 mm ; mais s'il s'agit de développer une plante industrielle comme l'*arachide* ou tout simplement si on recherche des rendements assurés, il est prudent de ne pas descendre en-dessous de 450 et même 500 mm de total moyen de précipitations annuelles.

Cette restriction élimine plus des trois quarts de la feuille IGN AM ZOER, des zones de culture sèche (cf. figure 2, page 4).

— les problèmes *d'hydraulique* souterraine empêchent pratiquement l'implantation des villages en dehors de la présence des *nappes alluviales* localisées dans le réseau hydrographique et dans de rares sites privilégiés en zone de relief. Ils interdisent en particulier *l'installation humaine* au cœur des ensembles dunaires continus et importants.

En ce qui concerne les sols de la région, ils peuvent être regroupés en quatre catégories (A, B, C, D) tel que présenté dans le tableau 20 ci-après, avec leurs proportions relatives approchées (1).

— **Catégorie A (20 %)** : ce sont les sols minéraux bruts, *impropres à toute utilisation*.

— **Catégorie B (50 %)** : c'est un ensemble à **aptitude pastorale**. Ces sols présentent la caractéristique commune d'avoir un profil hydrique peu profond et peu économique, favorisant les pertes directes par évaporation. Cette propriété est liée à un profil argileux (le plus souvent à montmorillonite), d'où forte capacité de rétention pour l'eau. Il s'y ajoute une perméabilité faible et généralement des propriétés physiques défavorables à un enracinement efficace des plantes. Dans ces conditions et même dans les zones les plus arrosées de la région, le déficit hydrique des sols et leurs propriétés physiques, n'autorisent pas de culture sèche avec des chances de succès suffisantes, alors que par ailleurs ces sols sont relativement riches.

Ces caractères défavorables présentent aussi des degrés et une certaine diversité suivant les types de sols :

(1) En annexe 1, on trouvera les surfaces vraies des unités cartographiques à partir desquelles ont été estimées les surfaces approchées des types de sol.

Tableau 20

| Réf. (1) | Type de sol | Surface km ² | % | Catégorie | % arrondi |
|----------|--|----------------------------|------|-----------|--------------|
| I | Lithosols | 6.000 | 18,9 | A | 20 |
| I | Régosols | 80 | 0,3 | | |
| V | Solonetz solodisés | 1.600 | 5,0 | B | 50 |
| VI | Vertisols | 230 | 0,7 | | |
| II. 1a | Sols régiques à faciès rubéfiés et bruns tirsifiés | 8.900 | 28,1 | | |
| II. 1b | Sols régiques à faciès ferrugineux | 5.100 | 16,1 | | |
| III | Sols bruns subarides | 130 | 0,4 | C | 25 |
| IV. 1 | S.F.T. non lessivés, peu évolués, sur sables éoliens | 700 | 2,2 | | |
| IV. 2a | S.F.T. évolués, peu lessivés, sur matériaux dérivés de grès paléozoïques | 850 | 2,7 | | |
| IV. 2b | S.F.T. évolués, peu lessivés, sur matériau "mixte" | 3.900 | 12,3 | | |
| IV. 3 | S.F.T. lessivés sur grès ou granite | 2.500 | 7,9 | | |
| II. 2 | Sols peu évolués sur alluvions | 1.700 | 5,4 | D | 5 |
| | | 31.690 | 99,9 | | 100 |

(1) Référence aux chapitres et sous-chapitres de la deuxième partie de ce rapport où sont étudiés les types de sols correspondants.

— les solonetz solodisés sont les plus mauvais : leur régime hydrique est toujours en outre fortement déficitaire et la discontinuité brutale entre horizons A et B est un véritable niveau d'arrêt, tant pour l'eau que pour les racines des plantes.

— les sols régiques d'érosion à faciès rubéfiés et bruns tirsifiés ont également un régime hydrique déficitaire (ruissellement), mais leur profil textural et structural varie de façon progressive.

— les vertisols — essentiellement les vertisols hydromorphes — ont le profil le plus argileux de tous, mais aussi le plus homogène ; leur régime hydrique par contre est plus ou moins excédentaire. En intervenant au gré de conditions propices pour rendre ce bilan plus positif, on peut envisager leur utilisation : en culture irriguée dans certains complexes alluviaux (catégorie D) ; en culture de décrue (sorgho), lorsque dans le sud surtout, des sites permettent la construction de barrages artisanaux pour leur assurer un complément d'eau.

— les sols régiques à faciès ferrugineux tropicaux sont variés et certains sont marginaux dans cette catégorie B. Les profils les plus argileux, les moins profonds et les sols polyphasés à recouvrement sableux peu épais en discontinuité brutale avec des horizons argileux sous-jacents, entrent bien dans cette catégorie ; par contre les sols les plus profonds en même temps que sableux, les profils où les variations tecturales sont lentement progressives, se rattachent à la catégorie C.

— **Catégorie C (25 %)** : les sols bruns subarides tirsifiés (entre 0,5 et 1 %) doivent être mis à part : leurs caractères et leur aptitude se situent entre ceux des sols régiques à faciès bruns tirsifiés et des vertisols lithomorphes, dans la catégorie B.

Tous les autres sols sont caractérisés par un profil sableux sans discontinuité, sur une profondeur de plus de 50 à 60 cm et souvent plus d'un mètre. Ceci leur confère un régime hydrique profond, économique. Ce sont aussi des sols relativement meubles, donc faciles à travailler, mais surtout favorables à l'enracinement dense des végétaux. En définitive, ces sols sont les meilleurs pour les *cultures sèches* : tous traditionnellement utilisés en *mil Pennisetum*, cette exploitation pourrait être développée ; ce sont aussi de bons sols à *arachide* dès que le total des précipitations le permet.

Cet ensemble est lui-même diversifié suivant les caractères des sols et les aptitudes particulières de certains d'entre eux (tels les sols «dunaires») :

— les sols ferrugineux peu évolués, non lessivés, sur sables éoliens récents, sont en même temps les plus pauvres et les plus fragiles, avec des risques importants d'érosion éolienne dans le nord.

— les sols ferrugineux lessivés, en équilibre instable, hystérétique, sont très sensibles aux actions mécaniques, surtout hydriques.

— les sols ferrugineux peu lessivés, évolués, sont les plus intéressants ; ils sont les plus proches de leurs conditions d'équilibre.

— les sols bruns subarides, à caractères juvéniles sont sensiblement plus riches et mieux structurés, encore que très fragiles.

— les "*sols dunaires*" (ferrugineux non et peu évolués : IV.1 - IV.2a et

IV.2b ; au total 17 % de la surface des cartes) portent naturellement des *peuplements de gommiers* qui pourraient être développés.

Cette catégorie de sols présente donc des possibilités d'exploitation fort intéressantes. En outre, pour le développement des cultures sèches vis-à-vis des restrictions climatiques, on notera, en comparant les cartes pédologiques et le tracé des isohyètes, que seule une faible fraction de ces sols est située au nord de l'isohyète 500 mm et qu'il s'agit uniquement de sols dunaires susceptibles de produire de la gomme tout en servant de pâturage.

Par contre ces mêmes sols dunaires — les plus intéressants — forment souvent de grands massifs impropres à l'installation humaine pour des raisons hydrauliques. Surtout dans le nord (est de la feuille GUEREDA en particulier) où ces problèmes sont plus aigus, les parties périphériques pourraient être cultivées partout où la fixation des populations est possible et les parties massives réservées à l'exploitation de la gomme et à la transhumance des troupeaux.

— **Catégorie D (5 %)** : il s'agit des sols sur alluvions, extrêmement divers, mais tous relativement *riches* par rapport aux autres types de sols et pour une bonne part d'entre eux susceptibles de bénéficier d'une *irrigation* au moins artisanale.

Ils échappent de ce fait aux restrictions d'ordre climatique, tandis que les vallées sont en même temps les zones privilégiées où se développent des villages importants.

Leur faible surface, leur dispersion et la difficulté de conduite de l'irrigation sur certains d'entre eux pour des raisons physiques, sont largement compensées par leur potentiel : possibilité de *culture intensive* avec éventuellement plusieurs récoltes par an ; possibilité de large *diversification* avec en particulier céréales à cycle moyen ou long, légumes, fruitiers.

Toute utilisation des sols du Ouaddaï, même en simple transhumance saisonnière, doit respecter des *impératifs stricts de conservation*. L'intensité et l'extension des phénomènes d'érosion sont exprimées par la cartographie ; c'est un risque partout latent et toute destruction inconsidérée des couverts végétaux naturels existants aurait des conséquences graves et en grande partie irréversibles. La première mesure à rechercher dans ce sens est la suppression des feux de brousse.

Pour les *zones de culture*, ceci signifie aussi des techniques conservatoires dont la plus simple est le *modèle du champ* que pratiquent d'ailleurs traditionnellement les paysans sur certains sols fragiles. Mais c'est également le maintien et l'amélioration de la fertilité et tout spécialement du profil structural des terres par la reconstitution de leur *stock organique* avec la jachère arbustive naturelle, la protection des feux, la restitution des résidus des cultures, l'utilisation de fumier chaque fois que possible. Mis à part les sols sur alluvions, plus riches, les sols cultivables sont les moins riches et n'ont qu'une fertilité chimique généralement médiocre, en rapport précisément avec la faiblesse de leurs stocks organiques et donc de leurs

teneurs en azote. On peut ainsi prévoir que tous les sols de culture réagiraient très favorablement à des apports de *fumure minérale azotée*. Les niveaux de réserve constatés à l'analyse permettent de penser que la prochaine carence à apparaître et corriger ensuite serait la potasse ; encore que même avec les taux très convenables de phosphore total observés, rien ne permette d'affirmer absolument qu'en présence de fumure azotée, la dynamique de cet élément satisferait pleinement les besoins des végétaux. Bref, toute culture intensive devrait rapidement recourir à la fumure minérale, mais celle-ci devrait être précisée sur les différents types de sols, par l'expérimentation.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT (G.)** - 1964 - La classification des sols utilisée par les pédologues français en zone tropicale ou aride.
Sols Africains, Vol. IX, n° 1, pp. 97-105.
- AUBREVILLE (A)** - 1950 - Flore forestière soudano-guinéenne (AOF-CAMEROUN-AEF)
Paris, Soc. d'Ed. Géogr. Maritime & Coloniale, 523 p., tabl., fig., biblio.
- AUDRY (P.)** - 1967 - Observations sur le régime hydrique comparé d'un sol ferrugineux tropical faiblement lessivé sous savane et sous culture (arachide et pénicillaire).
C.R. du Colloque sur la fertilité des sols tropicaux (Tananarive 19-25 nov. 1967), Paris, pp. 1591-1614, 10 fig., biblio.
- BLACK (J.N.), BONYTHON (C.W.), PRESCOTT (J.A.)** - 1954 - Solar radiation and the durat of sunshine.
Quat. J. ROY Met. Soc., pp. 231-235.
- BOCQUIER (G.)** - 1964 - Présence et caractères de solonetz solodisés tropicaux dans le bassin tchadien.
Int. Congr. Soil, Sér. 8, 1964, Bucarest, Vol. V, pp. 687-693.
- BOCQUIER (G.), AUDRY (P.), BARBERY (J.)** - 1968 - Notice explicative. Carte pédologique de reconnaissance au 1/200.000 de la République du Tchad. Feuille AM DAM.
ORSTOM, Paris, 102 p., 1 carte h.t. couleurs.
- BOCQUIER (G.), PAQUET (H.), MILLOT (G.)** - 1970 - Un nouveau type d'accumulation oblique dans les paysages géochimiques ; l'invasion remontante de la montmorillonite.
C.R. Acad. Sc., Fr., t. 270, pp. 460-463
- CLAVAUD (G.)** - 1967 - Carte pédologique au 1/50.000 du bassin versant du BAM-BAM, établie en vue d'un essai de définition d'unités à comportements hydrologiques différents.
ORSTOM, Fort-Lamy, 37 p. dactyl., 6 croquis, 3 cartes, biblio., annexes : 15 dossiers de caractérisation pédologique.

- DABIN (B.) - 1961** - Les facteurs de fertilité des sols des régions tropicales en culture irriguée.
Bull. Assoc. Franç. Etude du sol, n° spécial, pp. 108-130, graph., biblio.
- DABIN (B.) - 1969** - Etude générale des conditions d'utilisation des sols de la Cuvette tchadienne.
Trav. & docu. ORSTOM, Paris, 199 p., 24 fig., 9 tabl., biblio.
- FOURNIER (F.) - 1962** - Carte du danger d'érosion en Afrique au sud du Sahara fondé sur l'agressivité climatique et la topographie.
C.E.E. - C.C.T.A., Paris, 11 p. 1 carte h.t. 1/10.000.000 couleurs.
- GAVAUD (M.) - 1965** - Etude pédologique du Niger Occidental. Rapport général.
ORSTOM, Centre de Dakar-Hann, 513 p. multigr., 82 fig., 42 pl.
Ministère de l'Economie Rurale, Service du Génie Rural, République du Niger.
- GAVAUD (M.) - 1970** - Projet de corrélation pédologique dans le bassin du Lac Tchad.
ORSTOM, Dakar, contrat UNESCO-ORSTOM, 117 p. ronéo, 3 tabl., biblio., 3 cartes h.t. couleurs.
- GRONDARD (A.) - 1964** - La végétation forestière du Tchad.
Bois & Forêts Trop., n° 93, pp. 15-34.
- GSELL (J.), SONET (J.) - 1960** - Notice explicative sur la feuille ADRE (carte géologique de reconnaissance à l'échelle 1/500.000).
IRGM, Paris, 43 p., 1 carte h.t. couleurs.
- PIAS (J.) - 1964** - Notice explicative. Cartes pédologiques de reconnaissance au 1/200.000 - Feuilles d'ABECHE, BILTINE, OUM HADJER.
ORSTOM, Paris, n° 13, 105 p., 3 cartes h.t. couleurs.
- PIAS (J.) - 1970** - La végétation du Tchad. Les rapports avec les sols. Variations paléobotaniques au Quaternaire.
ORSTOM, Paris, Trav. & Docu., 47 p., 1 carte h.t. couleurs.
- PIAS (J.) - 1970** - Notice n° 41. Carte pédologique du Tchad à 1/1.000.000, Vol. I et II.
ORSTOM, Paris, 167 p., 14 fig., 6 tabl., biblio., annexes, 2 cartes h.t. couleurs.
- SIEFFERMANN (G.) - 1969** - Les sols de quelques régions volcaniques du Cameroun ; variations pédologiques et minéralogiques du milieu équatorial au milieu tropical.
Mém. ORSTOM n° 66, 183 p., 11 pl. fotogr.

**SONET (J.) - 1963 - Notice explicative sur la feuille NIERE (carte géologique de reconnaissance à l'échelle du 1/500.000).
BRGM, Paris, 78 p., 1 carte h.t. couleurs.**

**TURC (L.) - 1961 - Evaluation des besoins en eau d'irrigation : évapotranspiration potentielle. Formule climatique simplifiée et mise à jour.
Ann. agro., Paris, Vol. 12, pp. 13-49.**

SURFACE DES DIFFERENTES UNITES CARTOGRAPHIQUES

(Les numéros – 2ème colonne – renvoient dans l'ordre aux caissons de la légende des cartes)

| | | | km2 | % | |
|------------------------|--|---|--|-------|------|
| SOLS MINERAUX BRUTS | 1-2 | d'érosion : LITHOSOLS - Roches diverses | 1.470 | 4,7 | |
| | 3 | d'apport : REGOSOLS dominants - Alluvions et proluvions de lits mineurs | 80 | 0,3 | |
| SOLS PEU EVOLUES | D'EROSION SOLS REGIQUES | 4 | Association de FACIES RUBEFIES et BRUNS TIRSIFIES à des LITHOSOLS sur granite et diorite | 5.720 | 18,1 |
| | | 5 | Association de FACIES FERRUGINEUX à des LITHOSOLS sur granite | 1.090 | 3,4 |
| | | 6 | Association de FACIES FERRUGINEUX, RUBEFIES et BRUNS TIRSIFIES à des LITHOSOLS sur granite | 4.635 | 14,6 |
| | | 7 | FACIES FERRUGINEUX sur placage sablo-argileux/dalle gréseuse | 95 | 0,3 |
| | | 8 | Association de FACIES RUBEFIES et BRUNS TIRSIFIES s/prod. d'origine granitique | 1.035 | 3,3 |
| | D'EROSION et D'APPORT SOLS REGIQUES | 9 | FACIES FERRUGINEUX sur produits d'origine granitique | 195 | 0,6 |
| | | 10 | Association de FACIES FERRUGINEUX à des SOLONETZ SOLODISES sur produits d'origine granitique | 250 | 0,8 |
| | | 11 | Association de FACIES FERRUGINEUX à des SOLS REGIQUES RUBEFIES et BRUNS TIRSIFIES sur produits d'origine granitique | 4.120 | 13,0 |
| | | 12 | Association de FACIES FERRUGINEUX à des SOLS REGIQUES RUBEFIES et BRUNS TIRSIFIES sur produits dérivés du Continental Terminal | 135 | 0,4 |
| | | 13 | Sur alluvions diverses | 865 | 2,7 |
| | D'APPORT ALLUVIAL hydromorphes à pseudogley | 14 | Association à des SOLS BRUNS PEU EVOLUES (plus ou moins alcalisés) sur alluvions et produits issus de granite | 700 | 2,2 |
| | | 15 | Association à des SOLONETZ SOLODISES sur alluvions et produits issus de grès | 40 | 0,1 |
| | | 16 | Association à des SOLONETZ SOLODISES et VERTISOLS HYDROMORPHES sur alluvions diverses | 325 | 1,0 |

| | | | | | |
|----------------------------|--------------------------------------|----|---|--------|-------|
| SOLS BRUNS SUBARIDES | | 17 | Association à des SOLS REGIQUES ISOHUMIQUES et à des LITHOSOLS parfois à des VERTISOLS sur produits issus de diorite et granites basiques | 270 | 0,9 |
| | | 18 | Association à des SOLS REGIQUES ISOHUMIQUES et à des LITHOSOLS parfois à des VERTISOLS sur produits issus de basaltes, amphibolites... | 110 | 0,3 |
| SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX | NON ou PEU LESSIVES en ARGILE | 19 | S.F.T., NON LESSIVES, PEU EVOLUES, sur sables éoliens récents | 710 | 2,2 |
| | | 20 | S.F.T., PEU LESSIVES, EVOLUES, sans raies, s/sables rouges des plateaux gréseux | 545 | 1,7 |
| | | 21 | S.F.T., PEU LESSIVES, EVOLUES, à raies, sur sables et sables argileux dérivés de grès paléozoïques | 305 | 1,0 |
| | | 22 | S.F.T., PEU LESSIVE, EVOLUES, à raies, sur sables éoliens à éléments d'arène granitique | 3.920 | 12,4 |
| | LESSIVES | 23 | S.F.T., LESSIVES, sur granite. Toposéquence avec des SOLS HYDROMORPHES LESSIVES, des SOLONETZ SOLODISES, des VERTISOLS | 2.435 | 7,7 |
| | | 24 | S.F.T. LESSIVES, à pseudogley de profondeur, associés à des SOLONETZ SOLODISES sur produits SA issus de grès ou granite | 85 | 0,3 |
| SOLONETZ SOLODISES | HY- LITHOMORPHES généralement érodés | 25 | SOLONETZ SOLODISES dominants, associés localement à des SOLS REGIQUES RUBEFIES et BRUNS TIRSIFIES, sur granite | 575 | 1,8 |
| | | 26 | Association de SOLONETZ SOLODISES, à des SOLS FERRUGINEUX LESSIVES, des SOLS REGIQUES et des LITHOSOLS, sur granite | 1.015 | 3,2 |
| | | 27 | Association de SOLONETZ SOLODISES, à des SOLS REGIQUES à FACIES RUBEFIES et BRUNS TIRSIFIES, sur granite | 730 | 2,3 |
| | HY- MORPHES | 28 | Association de SOLONETZ SOLODISES, à des VERTISOLS HYDROMORPHES et des SOLS D'APPORT HYDROMORPHES, sur alluvions diverses | 70 | 0,2 |
| VERTISOLS | | 29 | Association de VERTISOLS, à des SOLONETZ SOLODISES ERODES et des SOLS REGIQUES à FACIES VERTIQUE et BRUN ALCALISE, sur granite | 165 | 0,5 |
| | | | | 31.680 | 100,0 |

**LISTE DES DOSSIERS
DE CARACTERISATION PEDOLOGIQUE CONSULTABLES**

SOLS PEU EVOLUES

- d'érosion, régiques
 - : faciès brun subaride, sur embréchite ou diorite micacée AD 43 ID EL GARA
 - : faciès rubéfié, sur matériau complexe AS, dérivé de granite ZOE 11 GUEREDA
 - : faciès ferrugineux tropical, sur ancien SFT lessivé érodé/embréchite AD 41 MATAGE
- d'érosion et d'apport, régiques
 - : à mauvais drainage interne (pseudogley), sur grès argileux du CT ZOE 217 MAYBA
- d'apport (alluvial)
 - : hydromorphe (pseudogley), sur alluvion stratifiée AD 89 ABOU GOULEM

SOLS ISOHUMIQUES

- sols bruns subarides
 - : peu profond, à caractère juvénile, sur diorite ZOE 46 AM ZOER
 - : tirsifié, rougi sur l'ensemble du profil, sur basalte ZOE 214 MAYBA

SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX

- non lessivé, peu évolué, sur sables éoliens AD 15 BREGUE
- peu lessivés, évolués
 - : à accumulation diffuse, sur sables quartzeux rouges/grès paléozoïques AD 1 ADRE
 - : à accumulation en raies, sur sables dérivés des grès paléozoïques AD 95 GERNYE
 - : à accumulation en raies, sur ancien SFT lessivé/embréchite AD 40 MATAGE
- lessivés, avec ou sans concrétions
 - : lessivé obliquement, à raies, sans concrétions, sur matériau argilo-sableux dérivé de granite AD 84 ABOU GOULEM
 - : profondément lessivé, à raies, passage aux sols hydromorphes lessivés, sur produits d'altération issus de granite ZOE 7 KOULBOUS
 - : à pseudogley de profondeur, et horizons superficiels érodés, sur matériau sablo-argileux dérivé de granite AD 21 BISKE

SOLS HALOMORPHES A STRUCTURE DEGRADEE, LESSIVES

- Solonetz solodisés lithomorphes
 - : à accumulation de carbonates et horizons lessivés peu épais, érodés, sur matériau argilo-sableux dérivé de granite AD 83 ABOU GOULEM
 - : à solodisation par taches en A₂, accumulation de carbonates, horizons supérieurs épais (sables éolisés), sur matériau argilo-sableux dérivé de granite AD 5 GARGOUNYOU
 - : à accumulation de carbonates, sur matériau sablo-argileux dérivé de grès AD 12 ADRE

VERTISOLS

- Lithomorphes
 - : à début de structure fine, sans taches, avec accumulation de carbonates et alcalisation en profondeur, sur matériau argilo-sableux dérivé de granite AD 16bis BREGE
 - : largement structuré en surface, à horizon supérieur érodé et remanié, avec accumulation de carbonates et sodium en profondeur, sur matériau argilo-sableux dérivé de granite leucocrate AD 27 FORCHANA

Composition et impression
Copédith
7, rue des Ardennes 75019 Paris
Dépôt Légal : 4ème trimestre 1975

O.R.S.T.O.M.

Direction générale :

24, rue Bayard, 75008 PARIS

Service Central de Documentation :

70-74, route d'Aulnay, 93 BONDY

O.R.S.T.O.M. Editeur

Dépôt Légal : 4ème trim. 1975

ISBN 2-7099-0384-9

CARTE PÉDOLOGIQUE DE RECONNAISSANCE DE LA RÉPUBLIQUE DU TCHAD

AM ZOER

P. AUDRY

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE-MER
CENTRE DE N'DJAMENA

LEGENDE

SOLS MINÉRAUX BRUTS D'ORIGINE NON CLIMATIQUE D'ÉROSION LITHOSOLS

- Sur roches diverses
- Barres rocheuses (Microgranite, Microdiorite, Quartz)

D'APPORT REGOSOLS dominants

- Sur alluvions et proluvions de lits mineurs

SOLS PEU ÉVOLUÉS D'ORIGINE NON CLIMATIQUE D'ÉROSION REGIQUES

Facès rubéfiés et bruns tirsifiés

Association de facès rubéfiés et bruns tirsifiés à des lithosols

- Sur produits d'altération issus de granites et de diorites

Facès ferrugineux

Sur produits d'altération issus de granites

- Association de facès ferrugineux à des lithosols
- Association de facès ferrugineux, de facès rubéfiés et bruns tirsifiés à des lithosols
- Sur placage sablo-argileux, sur dalle gréseuse localement cuirassée

D'ÉROSION ET D'APPORT REGIQUES

Sur produits remaniés dérivés de granite : Sols polyphasés de glaciés érodés

- Association de facès rubéfiés et bruns tirsifiés
- Facès ferrugineux
- Association de facès ferrugineux à des solonetz solodisés
- Association de facès ferrugineux à des sols régiques rubéfiés et bruns tirsifiés
- Sur sables et sables argileux dérivés de grès du Continental Terminal
- Association de facès ferrugineux à des sols régiques rubéfiés et bruns tirsifiés

D'APPORT HYDROMORPHES À PSEUDOCLEY

- Sur alluvions diverses
- Associés à des sols bruns peu évolués (sols ou moins alcalinisés) sur des alluvions et produits remaniés issus de granites
- Associés à des solonetz solodisés sur des alluvions et produits remaniés issus de grès
- Associés à des solonetz solodisés hydromorphes et des vertisols hydromorphes sur alluvions diverses

SOLS ISOHUMIQUES A COMPLEXE SATURE ET A SESQUIOXYDES INDIVIDUALISÉS

Associés à des sols régiques isohumiques et à des lithosols, parfois à des vertisols

- Sur produits issus de diorites ou de granites basiques
- Sur produits issus de basaltes, amphibolites, pyroxénites

SOLS A SESQUIOXYDES FORTEMENT INDIVIDUALISÉS ET A HUMUS RAPIDEMENT DÉCOMPOSÉ

SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX
NON OU PEU LESSIVÉS EN ARGILE
NON LESSIVÉS, PEU ÉVOLUÉS

Sur sables éoliens des cordons longitudinaux et des dunes d'obstacle

- Toposéquence avec des sols ferrugineux peu lessivés à raies
- PEU LESSIVÉS, ÉVOLUÉS
Sans accumulation discontinue en raies
- Sur sables rouges des plateaux gréseux paléozoïques
- Avec accumulation discontinue en raies
Sur sables et sables argileux dérivés de grès paléozoïques
- Toposéquence avec des sols lessivés et hydromorphes
Sur sables éoliens à éléments d'arène granitique
- Toposéquence avec des sols lessivés et hydromorphes

LESSIVÉS AVEC OU SANS CONCRÉTIONS

- Sur produits d'altération issus de granites
- Toposéquence avec des sols hydromorphes lessivés, des solonetz solodisés, des vertisols
- Sur produits sablo-argileux issus de grès ou de granites
- Sols à pseudocley de profondeur associés à des solonetz solodisés

SOLS HALOMORPHES A STRUCTURE DÉGRADÉE

LESSIVÉS A ARGILE DÉGRADÉE
SOLONETZ SOLODISÉS LITHOMORPHES GÉNÉRALEMENT ÉRODÉS

- Sur produits d'altération issus de granites
- Solonetz solodisés dominants associés localement à des sols régiques rubéfiés et bruns tirsifiés
- Associés à des sols régiques et des lithosols, et des sols ferrugineux lessivés
- Associés à des sols régiques à facès rubéfiés et bruns tirsifiés, et des lithosols

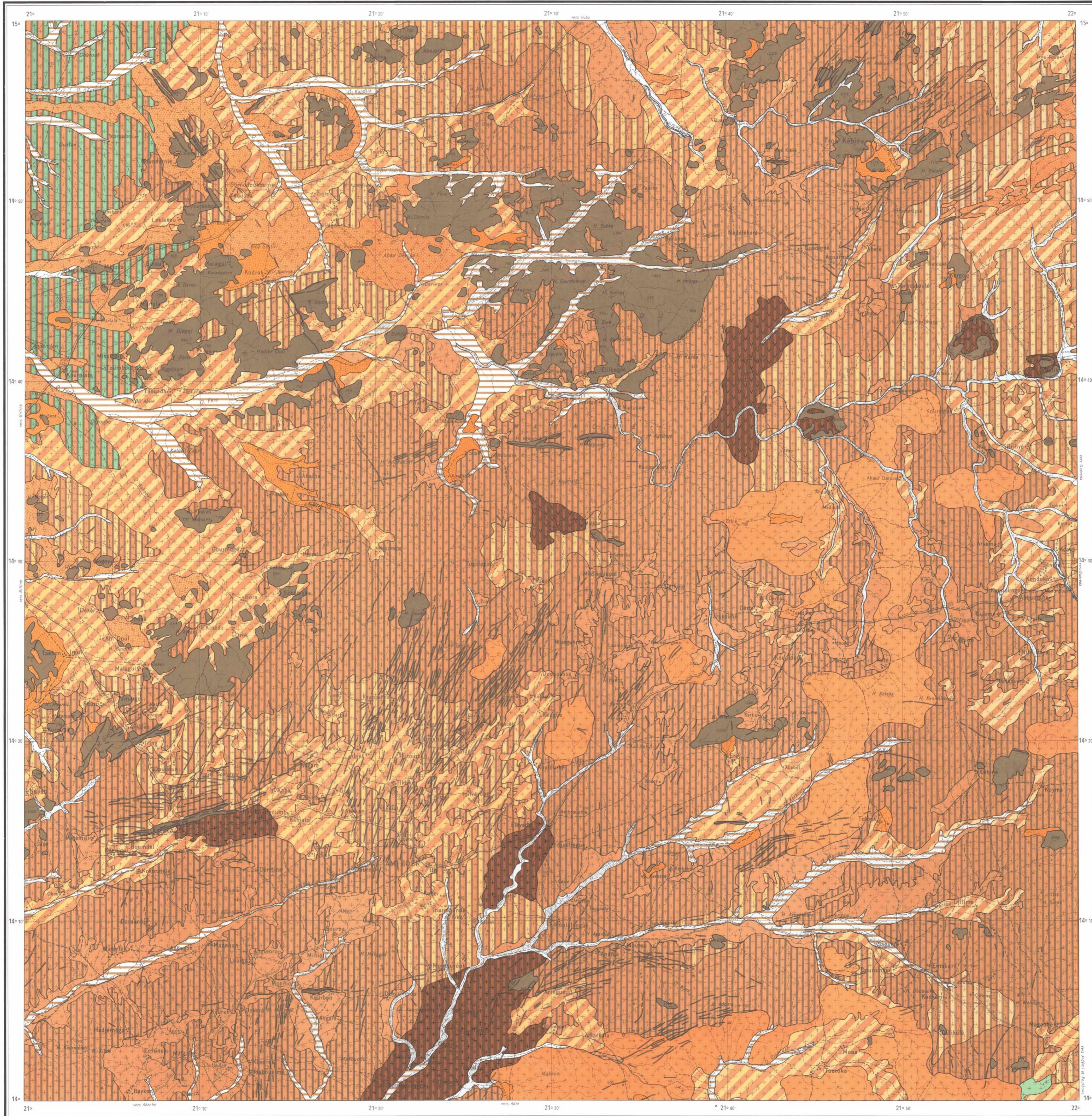
SOLONETZ SOLODISÉS HYDROMORPHES

- Sur alluvions diverses
- Associés à des vertisols hydromorphes et des sols d'apport hydromorphes

VERTISOLS

- Sur produits d'altération issus de granites
- Associés à des solonetz solodisés érodés et à des sols régiques à facès vertique, et brun alcalisé

Les unités marquées d'un astérisque ne figurent pas sur cette carte, mais sont présentes sur les cartes voisines de ABOUGOULEM-ADRE ou GUEREDA



RÉPUBLIQUE DU TCHAD
CARTE DE SITUATION

FOND TOPOGRAPHIQUE DE L'I.C.N. A 1/200 000
FEUILLE NO-34-XVI-AM ZOER Edition 1966

J. PIAS - esquisses pédologiques, cartographie inédite
à 1/200 000 de la partie Ouest des Feuilles AM ZOER
ET ABOUGOULEM-ADRE

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER
Service Central de Documentation
70, rue de la République - 93140 BONDY - FRANCE

© D.R.S.T.O.M. 1974

SERVICE CARTOGRAPHIQUE DE L'O.R.S.T.O.M. - A. Doublé - M. C. Rousseau - 1974

ECHELLE : 1/200 000

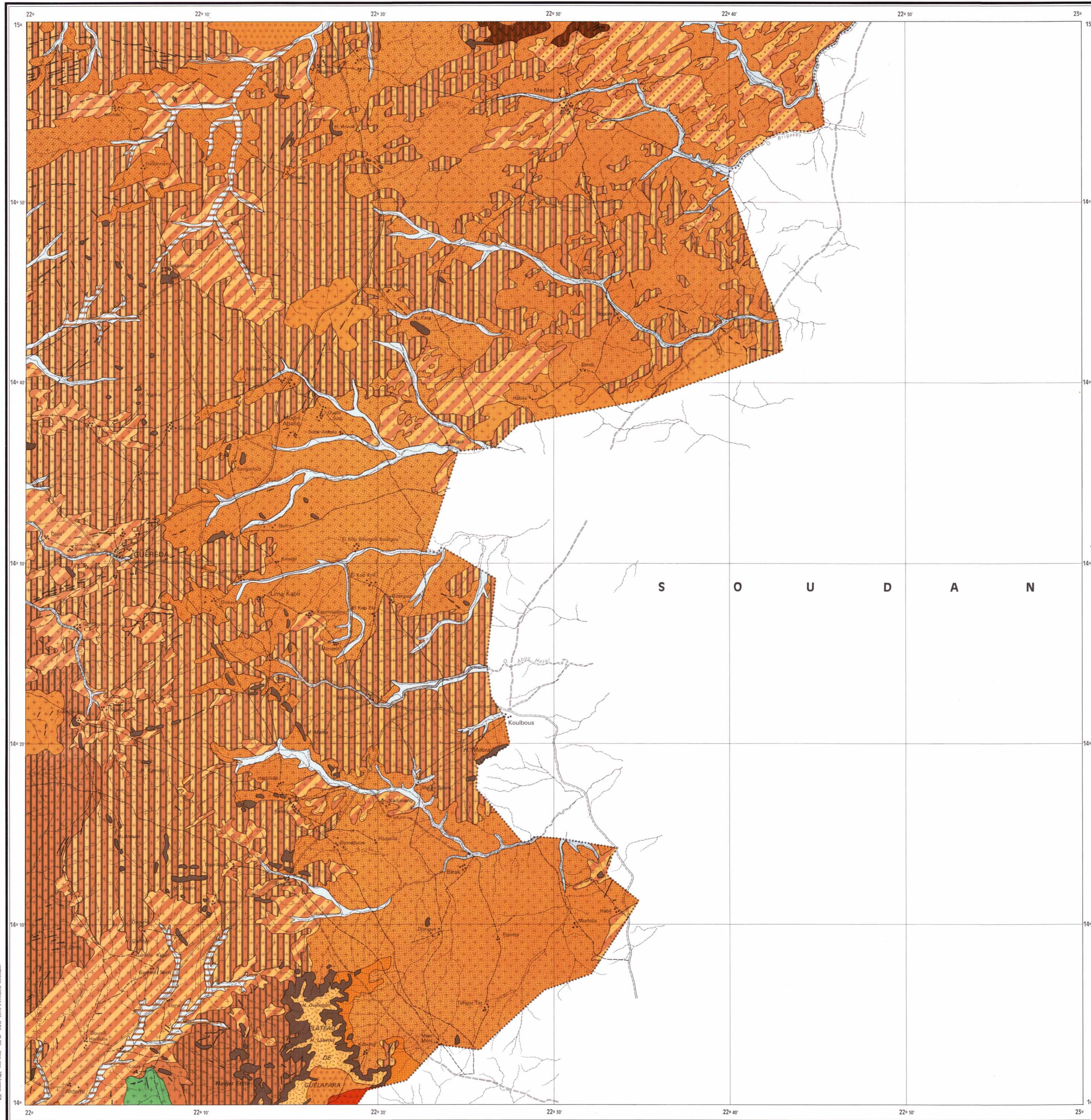


CARTE PÉDOLOGIQUE DE RECONNAISSANCE DE LA RÉPUBLIQUE DU TCHAD

GUÉRÉDA

P. AUDRY

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE-MER
CENTRE DE N'DJAMENA



LEGENDE

- SOLS MINÉRAUX BRUTS
D'ORIGINE NON CLIMATIQUE**
- D'ÉROSION**
- LITHOSOLS**
- Sur roches diverses
 - Barres rocheuses (Microgranite, Microdiorite, Quartz)
- D'APPORT**
- REGOSOLS dominants**
- Sur alluvions et proluvions de lits mineurs
- SOLS PEU ÉVOLUÉS
D'ORIGINE NON CLIMATIQUE**
- RÉGIQUES**
- Association de faciès rubéfiés et bruns tirsifiés
 - Association de faciès rubéfiés et bruns tirsifiés à des lithosols
 - Sur produits d'altération issus de granites et de diorites
 - Faciès ferrugineux
 - Sur produits d'altération issus de granites
 - Association de faciès ferrugineux à des lithosols
 - Association de faciès ferrugineux, de faciès rubéfiés et bruns tirsifiés à des lithosols
 - Sur placage sablo-argileux, sur dalle gréseuse localement cuirassée
- D'ÉROSION ET D'APPORT**
- RÉGIQUES**
- Sur produits remaniés dérivés de granite : Sols polyphasés de glacié érodés
 - Association de faciès rubéfiés et bruns tirsifiés
 - Faciès ferrugineux
 - Association de faciès ferrugineux à des solonetz solodisés
 - Association de faciès ferrugineux à des sols régiques rubéfiés et bruns tirsifiés
 - Sur sables et sables argileux dérivés de grès du Continental Terminal
 - Association de faciès ferrugineux à des sols régiques rubéfiés et bruns tirsifiés
- D'APPORT**
- HYDROMORPHES À PSEUDOGLEY**
- Sur alluvions diverses
 - Associés à des sols bruns peu évolués (plus ou moins alcalisés) sur des alluvions et produits remaniés issus de granites
 - Associés à des solonetz solodisés sur des alluvions et produits remaniés issus de grès
 - Associés à des solonetz solodisés hydromorphes et des vertisols hydromorphes sur alluvions diverses
- SOLS ISOHUMIQUES
A COMPLEXE SATURÉ ET A SESQUIOXYDES
INDIVIDUALISÉS**
- SOLS BRUNS SUBARIDES**
- Associés à des sols régiques isohumiques et à des lithosols, parfois à des vertisols
 - Sur produits issus de diorites ou de granites basiques
 - Sur produits issus de basaites, amphibolites, pyroxénites
- SOLS A SESQUIOXYDES FORTEMENT INDIVIDUALISÉS
ET A HUMUS RAPIDEMENT DÉCOMPOSÉ**
- SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX
NON OU PEU LESSIVÉS EN ARGILE
NON LESSIVÉS, PEU ÉVOLUÉS**
- Sur sables éoliens des cordons longitudinaux et des dunes d'obstacle
 - Toposéquences avec des sols ferrugineux peu lessivés à raies
- PEU LESSIVÉS, ÉVOLUÉS**
- Sans accumulation discontinue en raies
 - Sur sables rouges des plateaux gréseux paléozoïques
 - Avec accumulation discontinue en raies
 - Sur sables et sables argileux dérivés de grès paléozoïques
 - Toposéquence avec des sols lessivés et hydromorphes
 - Sur sables éoliens à éléments d'arène granitique
 - Toposéquence avec des sols lessivés et hydromorphes
- LESSIVÉS**
- AVEC OU SANS CONCRÉTIONS**
- Sur produits d'altération issus de granites
 - Toposéquence avec des sols hydromorphes lessivés, des solonetz solodisés, des vertisols
 - Sur produits sablo-argileux issus de grès ou de granites
 - Sols à pseudogley de profondeur associés à des solonetz solodisés
- SOLS HALOMORPHES
A STRUCTURE DÉGRADÉE**
- LESSIVÉS À ARGILE DÉGRADÉE**
- SOLONETZ SOLODISÉS LITHOMORPHES GÉNÉRALEMENT ÉRODÉS**
- Sur produits d'altération issus de granites
 - Solonetz solodisés dominants associés localement à des sols régiques rubéfiés et bruns tirsifiés
 - Associés à des sols régiques et des lithosols, et des sols ferrugineux lessivés
 - Associés à des sols régiques à faciès rubéfiés et bruns tirsifiés, et des lithosols
- SOLONETZ SOLODISÉS HYDROMORPHES**
- Sur alluvions diverses
 - Associés à des vertisols hydromorphes et des sols d'apport hydromorphes
- VERTISOLS**
- Sur produits d'altération issus de granites
 - Associés à des solonetz solodisés érodés et à des sols régiques à faciès vertiqueux, et brun alcalisé
- * Les unités marquées d'un astérisque ne figurent pas sur cette carte, mais sont présentées sur les cartes voisines de ABOUGOULEM-ADRE ou AM ZOER

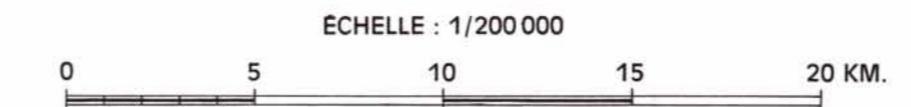


FOND TOPOGRAPHIQUE DE L'I.C.N. A 1/200 000
FEUILLE ND-34-XVII-GUÉRÉDA - Édition 1966
J. PIAS - esquisses pédologiques, cartographie inédite
à 1/200 000 de la partie Ouest des Feuilles AM ZOER
ET ABOUGOULEM-ADRE

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER
Service Centre de Documentation
10, rue de l'Inde - 93100 BOULOGNE - FRANCE

© O.R.S.T.O.M. 1974

SERVICE CARTOGRAPHIQUE DE L'O.R.S.T.O.M. - A. Douib. - M. C. Rousseau - 1974

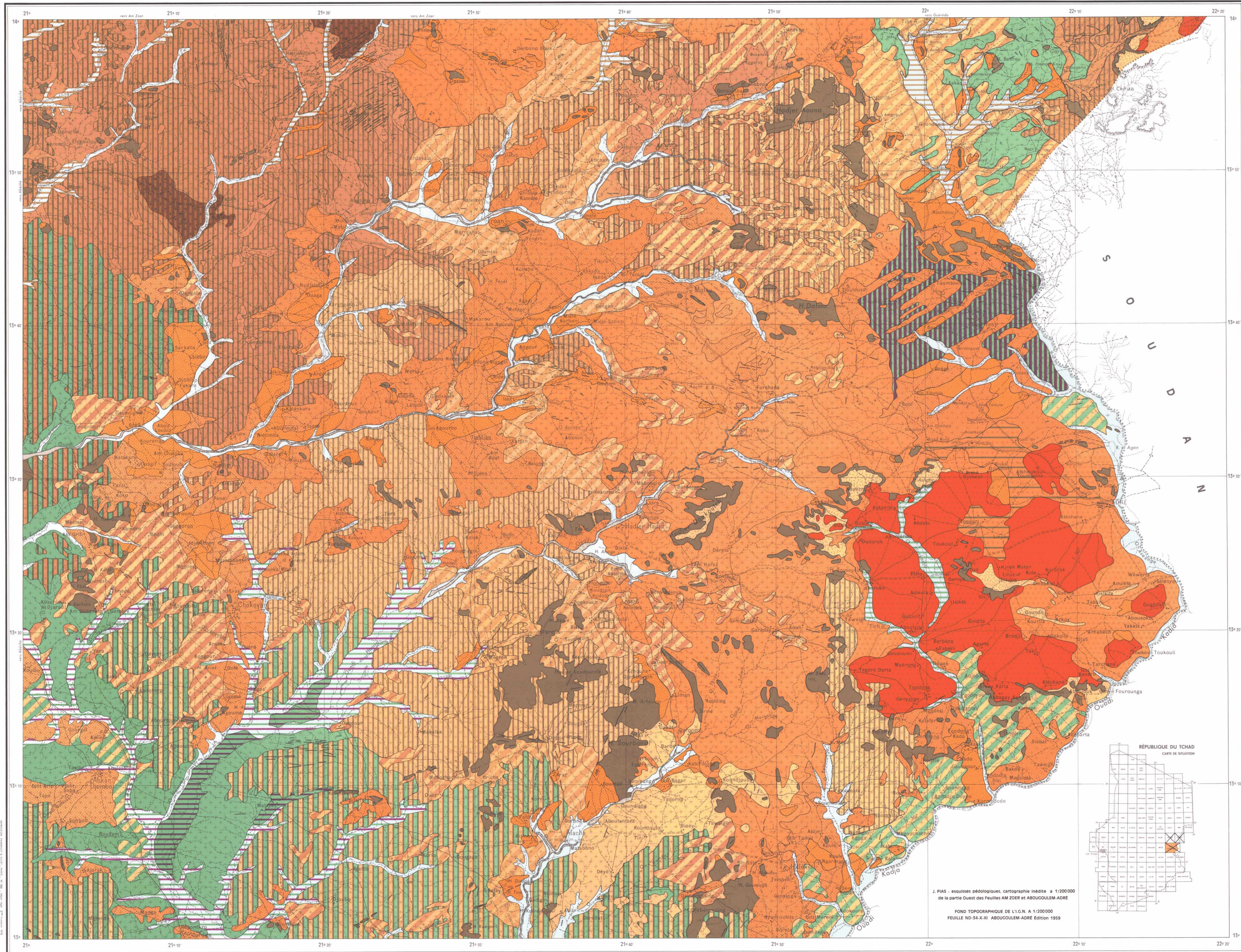


CARTE PÉDOLOGIQUE DE RECONNAISSANCE DE LA RÉPUBLIQUE DU TCHAD

ABOUGOULEM-ADRÉ

C. BOCOQUIER

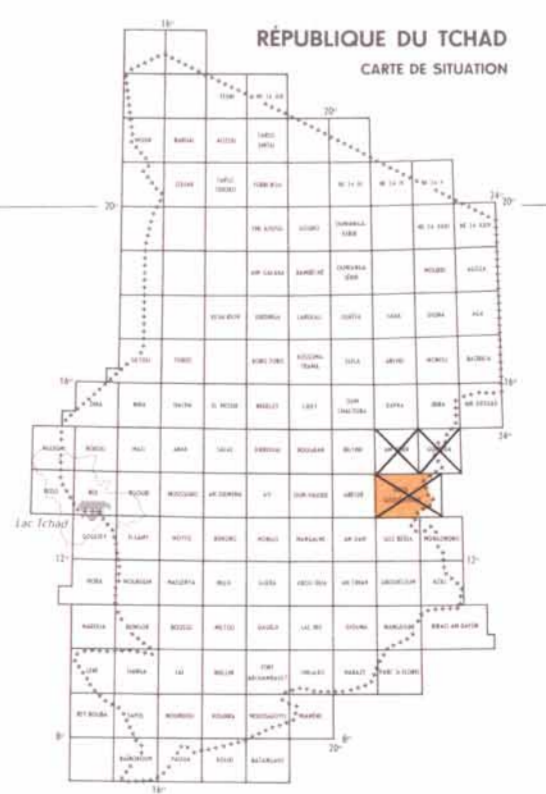
OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE-MER
CENTRE DE N'DJAMENA



LEGENDE

- SOLS MINÉRAUX BRUTS D'ORIGINE NON CLIMATIQUE D'ÉROSION LITHOSOLS**
- Sur roches diverses
 - Barres rocheuses (Microgranite, Microdiorite, Quartz)
- D'APPORT REGOSOLS dominants**
- Sur alluvions et proluvions de lits minéraux
- SOLS PEU ÉVOLUÉS D'ORIGINE NON CLIMATIQUE D'ÉROSION REGOSOLS**
- Facies rubefiés et bruns tirsifiés Association de facies rubefiés et bruns tirsifiés à des lithosols
 - Sur produits d'altération issus de granites et de diorites
 - Facies ferrugineux Sur produits d'altération issus de granites
 - Association de facies ferrugineux à des lithosols
 - Association de facies ferrugineux, de facies rubefiés et bruns tirsifiés à des lithosols
 - Sur placage sablo-argileux, sur dalle gréseuse localement cuirassée
- D'ÉROSION ET D'APPORT REGOSOLS**
- Association de facies rubefiés et bruns tirsifiés
 - Facies ferrugineux
 - Association de facies ferrugineux à des solonetz solodisés
 - Association de facies ferrugineux à des sols régiques rubefiés et bruns tirsifiés
 - Sur sables et sables argileux dérivés de grès du Continental Terminal
 - Association de facies ferrugineux à des sols régiques rubefiés et bruns tirsifiés
- D'APPORT HYDROMORPHES À PSEUDOGLÉY**
- Sur alluvions diverses
 - Associés à des sols bruns peu évolués (lous ou moins alcalinisés) sur des alluvions et produits remaniés issus de granites
 - Associés à des solonetz solodisés sur des alluvions et produits remaniés issus de grès
 - Associés à des solonetz solodisés hydromorphes et des vertisols hydromorphes sur alluvions diverses
- SOLS ISOHUMIQUES À COMPLEXE SATURE ET A SESOIXIYDES INDIVIDUALISÉS SOLS BRUNS SUBARIDES**
- Associés à des sols régiques isohumiques et à des lithosols, parfois à des vertisols
 - Sur produits issus de diorites ou de granites basiques
 - Sur produits issus de basaltes, amphibolites, pyroxénites
- SOLS À SESOIXIYDES FORTEMENT INDIVIDUALISÉS ET A HUMUS RAPIDEMENT DÉCOMPOSÉ SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX NON OU PEU LESSIVÉS EN ARCILE NON LESSIVÉS, PEU ÉVOLUÉS**
- Sur sables éoliens des cordons longitudinaux et des dunes d'obstacle
 - Toposéquences avec des sols ferrugineux peu lessivés à raies
- PEU LESSIVÉS, ÉVOLUÉS**
- Sans accumulation discontinue en raies
 - Sur sables rouges des plateaux gréseux paléozoïques
 - Avec accumulation discontinue en raies
 - Sur sables et sables argileux dérivés de grès paléozoïques
 - Toposéquence avec des sols lessivés et hydromorphes
 - Sur sables éoliens à éléments d'arène granitique
 - Toposéquence avec des sols lessivés et hydromorphes
- LESSIVÉS AVEC OU SANS CONCRÉTIONS**
- Sur produits d'altération issus de granites
 - Toposéquence avec des sols hydromorphes lessivés, des solonetz solodisés, des vertisols
 - Sur produits sablo-argileux issus de grès ou de granites
 - Sols à pseudo-gléy de profondeur associés à des solonetz solodisés
- SOLS HALOMORPHES À STRUCTURE DÉGRADÉE LESSIVÉS À ARCILE DÉGRADÉE SOLONETZ SOLODISÉS LITHOMORPHES GÉNÉRALEMENT ÉRODÉS**
- Sur produits d'altération issus de granites
 - Solonetz solodisés dominants associés localement à des sols régiques rubefiés et bruns tirsifiés
 - Associés à des sols régiques et des lithosols, et des sols ferrugineux lessivés
 - Associés à des sols régiques à facies rubefiés et bruns tirsifiés, et des lithosols
- SOLONETZ SOLODISÉS HYDROMORPHES**
- Sur alluvions diverses
 - Associés à des vertisols hydromorphes et des sols d'apport hydromorphes
- VERTISOLS**
- Sur produits d'altération issus de granites
 - Associés à des solonetz solodisés érodés et à des sols régiques à facies verticale, et brun alcalisé

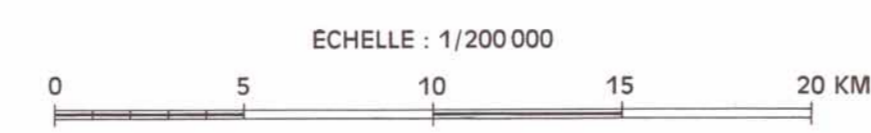
J. PIAS - esquisses pédologiques, cartographie inédite à 1/200 000 de la partie Ouest des Feuilles AM ZDER et ABOUGOULEM-ADRÉ
FOND TOPOGRAPHIQUE DE L'I.C.N. A 1/200 000
FEUILLE ND-34.XI ABOUGOULEM-ADRÉ Edition 1959



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER
Service Centre de Documentation
30-74, BOULEVARD PAULIN - ESTAS BORDY - FRANCE

© O.R.S.T.O.M. 1974

SERVICE CARTOGRAPHIQUE DE L'O.R.S.T.O.M. - A. Doublé - 1974



* Les unités marquées d'un astérisque ne figurent pas sur cette carte, mais sont présentes sur les cartes voisines de AM ZDER ou QUÉREDA