

## Les sols et l'amélioration des conditions agro-sylvo-pastorales dans le bassin du Wabi Shebelle (Ethiopie)

Gilles RICHE

Pédologue de l'ORSTOM

### RÉSUMÉ

Le Wabi Shebelle, fleuve de l'Est africain, prend sa source dans les montagnes d'Ethiopie, et après un parcours de 1 300 km, dont 300 km en territoire somalien, se perd dans une plaine marécageuse bordant l'Océan Indien. Dans sa partie éthiopienne, il draine un bassin de 190 000 km<sup>2</sup> s'étendant des confins désertiques de l'Ogaden somalien, d'altitude 200 à 300 m en moyenne, aux montagnes humides et froides du Nord dépassant 4 000 m. Ses affluents sont pérennes au Nord, temporaires au Sud. Vers l'Est, le Fafan est une rivière intermittente sans exutoire. Le bassin du Wabi Shebelle se divise en trois grandes régions géographiques : l'Ogaden au Sud-Est, le « Middle Belt » au Centre, les Hauts-Plateaux au Nord et à l'Est.

Les conditions climatiques sont régies principalement par l'altitude qui provoque un accroissement de la pluviométrie du Sud-Est vers le Nord-Ouest, s'accompagnant d'une diminution de la température moyenne annuelle. Six types climatiques ont été distingués, allant du type tropical semi-aride au Sud, au type tempéré « froid » dans les parties montagneuses du Nord.

La végétation et l'occupation humaine sont le reflet de l'altitude : la forêt se maintient sur les montagnes, mais elle fait place aux Ericacées sur les sommets les plus hauts. Sur les Hauts-Plateaux, la forêt a pratiquement disparu par suite des défrichements. Dans le Middle-Belt on observe un fourré qui va en s'éclaircissant progressivement à mesure que le climat devient plus sec vers le Sud.

Les assises sédimentaires calcaires, gypseuses ou gréseuses occupent tout le centre et le sud du Bassin. Par contre, les trapps basaltiques dominent sur les

Hauts-Plateaux, alors que le socle granito-gneissique affleure dans le nord-ouest.

Les mouvements tectoniques, liés à la formation des Rift Valleys de l'Est africain, ont provoqué l'apparition de fossés d'effondrement dans le centre et le sud empruntés par le Wabi Shebelle et le Fafan, et aussi la surrection de la partie nord du bassin avec pour conséquence principale la formation des grands canyons du Wabi Shebelle et de ses affluents sous la partie centrale du Bassin.

La variété des conditions climatiques entraîne une diversification des processus de pédogenèse donc des types de sols. Cependant, dans la plupart des cas, les caractéristiques chimiques ou morphologiques sont conditionnées par l'abondance du calcium (et du magnésium), figuré ou non, dans les matériaux originels.

La dynamique des carbonates et des sulfates concerne 59 % des sols du Bassin. Les processus de dissolution prédominant dans les sols calcimagnésiques (8,3 %) du nord du Bassin par contre, les accumulations secondaires de carbonates et de sulfates de calcium d'intensité variable (accumulations diffuses, amas et nodules, encroûtements) constituent des caractères morphologiques essentiels et justifient la création de la classe des sols à différenciation calcaire (34,1 %), surtout représentée dans le centre et le sud du Bassin, et de la classe à différenciation gypseuse (16,6 %) en Ogaden.

Les vertisols grumosoliques calciques sont dominants sur les Hauts-Plateaux (10,5 %) mais deviennent calcaires dans le centre et le sud.

Les sols fersiallitiques (5,3 %) saturés ou faiblement désaturés, s'observent à moyenne altitude dans les zones de transition tropical-tempérée ou tempérée.

Les sols bruns eutrophes (1,5 %) occupent les pentes fortes des massifs basaltiques, et les sols mésotrophes (0,7 %) les zones collinaires formées de cendres volcaniques acides de l'extrême ouest.

Les andosols coiffent les hauts sommets des montagnes à plus de 3 400 m d'altitude.

L'extension des sols hydromorphes et des sols sodiques est très faible.

Par contre, les sols peu évolués occupent de grandes surfaces (21,1 %) dans les zones sèches du centre et du sud.

Les teneurs en matière organique augmentent des zones sèches vers les zones plus humides. L'humus, de type calcique dans la majorité des cas confère aux horizons supérieurs une structure grumeleuse sauf dans la zone semi-aride.

Le pH des sols est neutre, parfois légèrement acide et le complexe adsorbant saturé à l'exception des andosols et des sols bruns mésotrophes.

Le niveau de fertilité chimique des sols est généralement bon, parfois moyen ou bas. Le facteur chimique limitant est le plus souvent l'azote, bien que le phosphore le soit dans quelques sols de grand intérêt agropastoral.

L'utilisation des sols dépend étroitement des conditions climatiques, des possibilités d'amélioration du bilan hydrique du sol par la diminution de l'évaporation, les inondations ou l'irrigation ; ceci combiné avec les méthodes de conservation des sols au niveau de la région et de la parcelle (lutte contre l'érosion hydrique ou éolienne). Il apparaît que, dans ces conditions, le patrimoine agro-sylvo-pastoral peut être considérablement amélioré sur 20 % de la surface du Bassin, soit 3 600 000 ha environ par :

— l'intensification de l'agriculture et de l'élevage sur les Hauts-Plateaux,

— l'implantation de forêts jardinées dans ces mêmes régions,

— l'extension des cultures en sec mécanisées dans le Middle-Belt,

— l'irrigation et le contrôle des inondations en Ogaden.

Enfin la création de deux Parcs Nationaux Harar 300 000 ha, Arrussi 88 000 ha et de trois réserves Intégrales Wabi Shebelle 3 200 000 ha, Bas-Fafan 800 000 ha et Kedri Beyah 160 000 ha est proposée avec pour objectif la protection de la faune abondante et variée et de l'équilibre écologique en général de cette région de l'Est Africain.

## ABSTRACT

The Wabi Schebelle, an East African river, takes its rise in the Ethiopian highlands, and after flowing down for 1 300 km, 300 of which are located in Somalian territory, runs to waste in a marshy plain along the Indian Ocean. In its Ethiopian part, the river drains a 190 000 km<sup>2</sup> basin, stretching from the two to three hundred meter high desert borders of the Somalian Ogaden, to the humid, cool, more than four thousand meter high northern mountains. Its tributaries are permanent in the North, temporary in the south. Towards the East, the Fafan is an intermittent outletless river. The basin of the Wabi Schebelle can be divided in three main geographic regions : the Ogaden in the South-east, the Middle Belt in the center, the High plateaus in the North and the East.

The climatic conditions depend mainly on the altitude which brings about an increase of rainfall from the southeast towards the north west, as well as a decrease of the mean annual temperature. Six different climatic types have been marked out from a tropical subarid one in the South to a cool temperate one in the northern mountains.

Vegetation and human occupation are also conditioned by altitude. Forests hold on along the mountain slopes but are replaced by heather on the highest tops. On the high plateaus, forest has utterly disappeared through clearings. In the Middle Belt only a bush is left which thins out gradually as the climate becomes drier in the south. The limestone (sandstone or gypsum), sedimentary beds, fill the whole center and the south of the basin. On the other hand, basaltic trapps are dominant on the high plateaus, while the granitogneissic base crops out in the North west.

Tectonic movements, in relation with the formation of East African Rift Valleys, are responsible for the subsided trenches in the center and the south, taken by the Wabi Schebelle and the Fafan, as well as the uplift of the northern part of the basin resulting mainly in the cutting in of the great Wabi Schebelle and its tributaries canyons, in the central part of the basin.

The variety of climatic conditions are responsible for the changing pedogenic processes, and consequently of soil types. However, in most cases, the chemical and morphological features are conditioned by the abundance of calcium (and magnesium) appearing as such or not, in the parent materials.

The dynamics of carbonates and sulphates affect 59 % of the soils of the basin. The dissolution processes are prevailing in the calcimagnesian soils (8,3 %) of the

northern part of the basin ; on the other hand, secondary accumulations of varying intensities of calcium carbonate or sulphate (diffused accumulations, accumulations and nodules, crusts) form essential morphological features and justify the founding of a class of lime differentiated soils (34,1 %) represented mostly in the center and the south of the basin, and that of a gypsum differentiated soils (16,6 %) in the Ogaden. Calcic grumosolic vertisols are dominant in the high plateaus (10,5 %) ; they become calcaric in the center and the South.

Saturated or weakly desaturated fersiallitic soils (5,3 %) can be observed at medium altitude in the tropical-temperate transition zone.

Eutrophic brown soils (1,5 %) are located on steep slopes of basaltic mountain masses, and mesotrophic brown soils (0,1 %) on hills formed on acid volcanic ashes of the far west areas. Andosols are located on the topmost summits at more than 3 400 m. Hydromorphic and sodic soils concern only very small areas.

On the other hand, slightly developed soils are very extensive (21,1 %) in the drier zones of the central and southern parts of the basin.

The organic matter contents increase from the drier to the more humid areas. In most cases, humus is of a calcic type and confers to the top soil a granular structure except in the semi-arid zone.

The pH is neutral, sometimes slightly acid, and the absorbing complex is usually saturated excepted for the andosols and the mesotrophic brown soils.

The chemical fertility level of the soils is generally good, sometimes medium or low. The limiting chemical factor is more often than not nitrogen, although phosphorus may be lacking in some important soils.

Soils use depends closely on : climatic conditions the possibilities of improving the soil hydric balance through the decrease of evaporation, the control of flooding and irrigation, as well as on the soil conservation methods at regional or plot level (struggle against hydric or eolian erosion). It seems that under these conditions the soil patrimony can be extensively improved on more than 20 % of the surface of the basin e.g. 3 600 000 ha through :

— the intensification of farming and cattle raising on the high plateaus,

— the creation of garden forests in the same area,

— the extension of mechanized dry farming in the Middle Belt,

— the irrigation and flood control in Ogaden.

Finally, the creation of two National Parks (Harar 300 000 ha, Arussi 88 000 ha) and of two Integral Reserves (Wabi Shebelle 320 000 ha, Lower Fafan 800 000 ha and Kebri Beyah 160 000 ha) is proposed, bearing in mind the protection of the varied and plentiful fauna and the general ecological balance of this area of East Africa.

## PLAN

### 1. LE MILIEU

- 1.1. Le climat
  - 1.1.1. Variété et complexité dues à l'influence conjuguée de la latitude et de l'altitude
  - 1.1.2. Les types climatiques
- 1.2. Le réseau hydrographique et le régime hydrologique
- 1.3. La végétation et l'occupation humaine : reflets de l'altitude
- 1.4. Les roches-mères : la prédominance des matériaux riches en calcium
- 1.5. Géomorphologie et paysages : l'influence déterminante de l'accident tectonique de la Basse Vallée du Wabi Shebelle

### 2. LE CLIMAT ET LA DYNAMIQUE DU CALCIUM DANS LA CLASSIFICATION DES SOLS

### 3. LES GRANDS TYPES DE SOLS ET LEUR RÉPARTITION

- 3.1. Sols peu évolués
- 3.2. Vertisols
- 3.3. Andosols
- 3.4. Sols riches en carbonates et sulfates de calcium
  - 3.4.1. Sols calcimagnésiques
  - 3.4.2. Sols à différenciation calcaire
    - à horizon mélanique
    - à horizon pallide
  - 3.4.3. Sols à différenciation gypseuse
    - à horizon pallide
- 3.5. Sols brunifiés
  - 3.5.1. Sols bruns eutrophes
  - 3.5.2. Sols bruns mésotrophes hydromorphes
- 3.6. Sols fersiallitiques
  - 3.6.1. Sols fersiallitiques saturés : sols rouges méditerranéens
  - 3.6.2. Sols fersiallitiques faiblement désaturés : sols rouges tropicaux d'altitude
- 3.7. Sols hydromorphes
- 3.8. Sols sodiques

### 4. USAGE ACTUEL, POSSIBILITÉS D'UTILISATION DES SOLS

- 4.1. Les conditions de la transformation du potentiel agro-sylvo-pastoral
- 4.2. Délimitation des zones susceptibles d'un aménagement agro-sylvo-pastoral et pour la création des réserves de faune

### 5. CONCLUSIONS

### 6. BIBLIOGRAPHIE

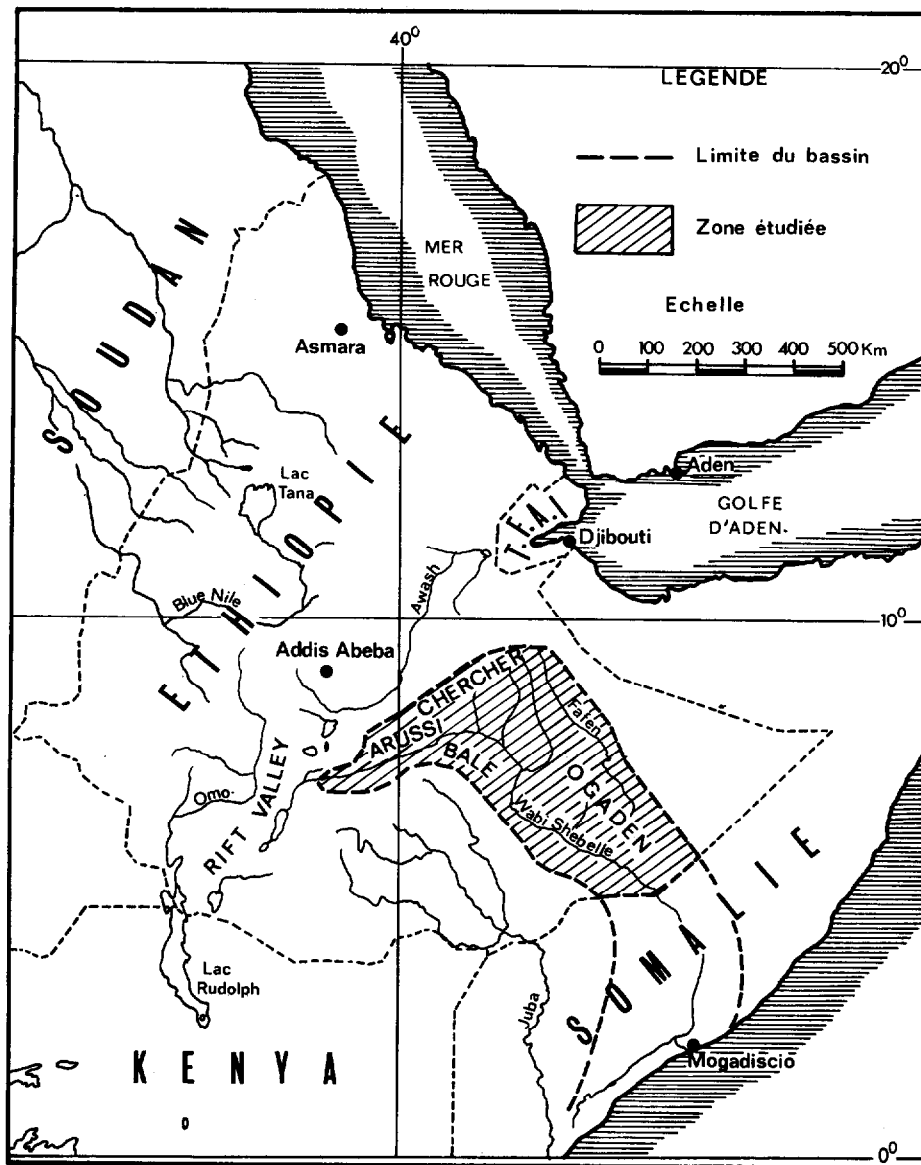


FIG. 1. — Carte de situation.

Le Wabi Shebelle prend sa source dans les montagnes humides du Centre de l'Éthiopie. Il coule d'abord vers le Nord-Ouest dans les Hautes Terres, puis prend une direction Sud-Est à son entrée dans la zone sèche de l'Ogaden. Comme l'Awash, autre fleuve de l'Est éthiopien, il n'atteint pas la mer. Après un parcours de 1 300 km, dont 300 km en territoire somalien, il va

se perdre dans les marécages qui bordent l'Océan Indien entre Mogadiscio et la frontière du Kénya et de la République de Somalie.

Des confins somaliens désertiques au Sud, d'altitude moyenne 200 m, aux montagnes humides et froides du Nord et de l'Est, dont certaines culminent à plus de 4 000 m, le Bassin du Wabi Shebelle s'étend sur

190 000 km<sup>2</sup> dans sa partie éthiopienne entre 38° 30' et 45° de longitude Ouest, 5° et 9° 30' de latitude Nord. Son originalité réside principalement dans la diversification des processus de pédogenèse qui sont liés :

— à la variété des climats qui vont du tropical semi-aride au tempéré,

— à la présence de matériaux volcaniques vers le Nord sous climat humide et frais, et à l'abondance du calcaire et du gypse vers le Sud sous une pluviométrie inférieure à 600 mm, alors qu'à la même latitude, ce sont les roches granito-gneissiques qui dominent dans les régions intertropicales d'Afrique Centrale et Occidentale.

## 1. LE MILIEU

### 1.1. Le climat

#### 1.1.1. VARIÉTÉ ET COMPLEXITÉ DUES A L'INFLUENCE CONJUGUÉE DE LA LATITUDE ET DE L'ALTITUDE

Les conditions climatiques sont davantage déterminées par l'altitude que par la latitude.

Si la latitude modifie seulement la répartition des pluies, l'altitude influence à la fois la pluviométrie et la température. Ainsi, les Ethiopiens ont depuis longtemps délimité trois zones climatiques directement liées à l'altitude : la « dega », terres froides et brumeuses des massifs montagneux au-dessus de 3 400 m ; la « woïna dega », terres tempérées où l'aménité du climat et les bonnes possibilités de culture ont favorisé la sédentarisation, base de la civilisation agraire éthiopienne, la « chola », terres basses chaudes et sèches, en dessous de 1 700 m, inhospitalières et sillonnées par les nomades somalis.

#### *Influence de la latitude*

Vers le Sud, le climat est semi-aride, mais la proximité de l'Equateur se marque par deux saisons des pluies (le soleil passe deux fois au zénith). C'est un type tropical sec à deux saisons des pluies. Vers le Nord, le passage est progressif vers un climat de type tropical où les deux saisons des pluies se fondent en une seule (le soleil est au zénith une seule fois par an).

La latitude basse favorise en outre le maintien d'une température stable au cours de l'année pour une même station.

L'amplitude de la température moyenne mensuelle varie de 2°5 dans les régions les plus chaudes du Sud à 3°4 dans les régions les plus froides de l'Est.

#### *Influence de l'altitude*

Les précipitations annuelles qui sont de 150 à 300 mm au sud à l'altitude de 200-300 m, passent à plus de 2 000 mm sur les sommets entre 3 500 m et 4 000 m qui bordent la partie Nord et Est du Bassin. Le gradient pluviométrique annuel de croissance est de l'ordre de 27 mm par 100 m de dénivellée au-dessus de 300 m d'altitude.

La température moyenne annuelle de 28° dans le Sud-Est à 300 m d'altitude, passe à 21° au centre à 1 200 m, et tombe à 13° au Nord-Ouest et au Nord à plus de 2 500 m. Le gradient thermique annuel de décroissance est de 0,63 °C pour 100 m de dénivellée (Baudin et Dubreuil, 1973).

#### *Le régime des vents*

Les vents soufflent du Nord-Est d'octobre à mai et du Sud-Ouest le reste de l'année, avec des vitesses élevées : régulières sur les Hauts Plateaux (1,5 à 2 m/s) et variables dans le Sud-Est (de 2 à 5 m/s). Au-dessus de 2 500 m d'altitude, de nombreux microclimats existent, liés à l'exposition mais surtout à l'orientation des versants par rapport au vent.

#### 1.1.2. LES TYPES CLIMATIQUES (tabl. 1 et fig. 2 et 3)

Les concepts climatiques zonaux utilisés en Afrique de l'Ouest sont ici difficilement applicables, le climat étant une résultante de la latitude et de l'altitude. La grille climatique de Péguy (1961) qui classe les climats en fonction des caractéristiques et du nombre des mois arides (A), pluviothermiques (P), optimums (O) et froids (F) permet de définir 6 régimes climatiques :

— le régime tropical : *climat ogadénien* qui sévit sur l'Ogaden dans le Sud du Bassin,

— le régime xérothérique (ou méditerranéen) : *climat fickien* (de la localité de Fick) qui caractérise la zone moyenne du Bassin encore appelée « Middle Belt »,

— le régime de transition xérothérique-tropical : *climat éthiopien* qui correspond à la frange des hautes terres des régions de Harar et du Chercher ;

— le régime de transition tempéré xérothérique : *climat guédébien* qui se limite à la haute plaine du Guedeb en Arussi ;

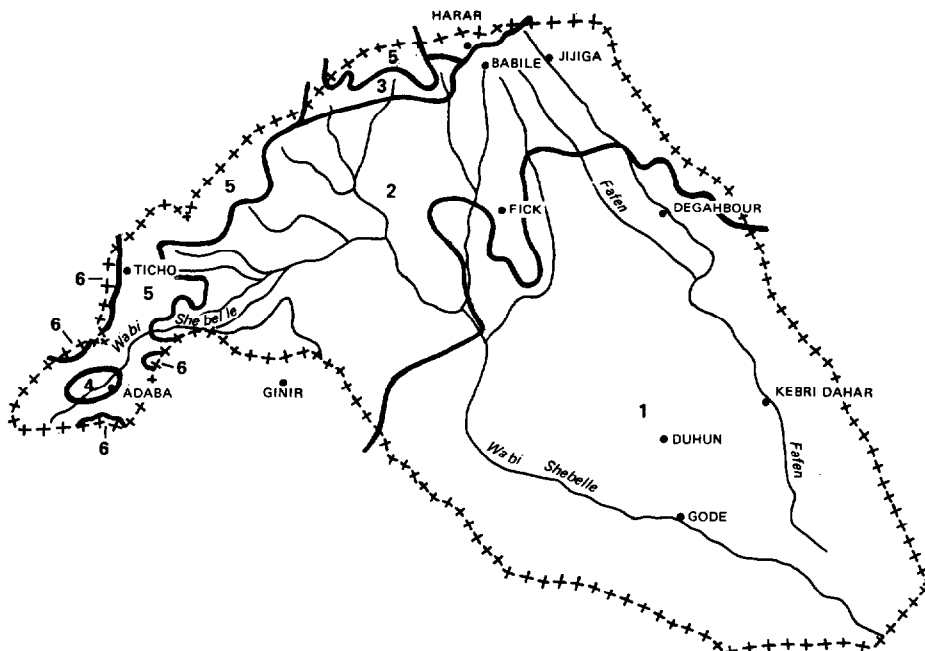


FIG. 2. — Esquisse climatique du bassin du Wabi Shebelle.

| Régime climatique                   | Type climatique | Régime climatique                     | Type climatique |
|-------------------------------------|-----------------|---------------------------------------|-----------------|
| 1. tropical semi-aride              | Ogadémien       | 4. transition - tempéré xéro-thérique | Guédébien       |
| 2. xérothérique (Méditerranéen)     | Fickien         | 5. tempéré                            | Tichéen         |
| 3. transition xérothérique tropical | Ethiopien       | 6. tempéré « froid »                  | Boraluku        |

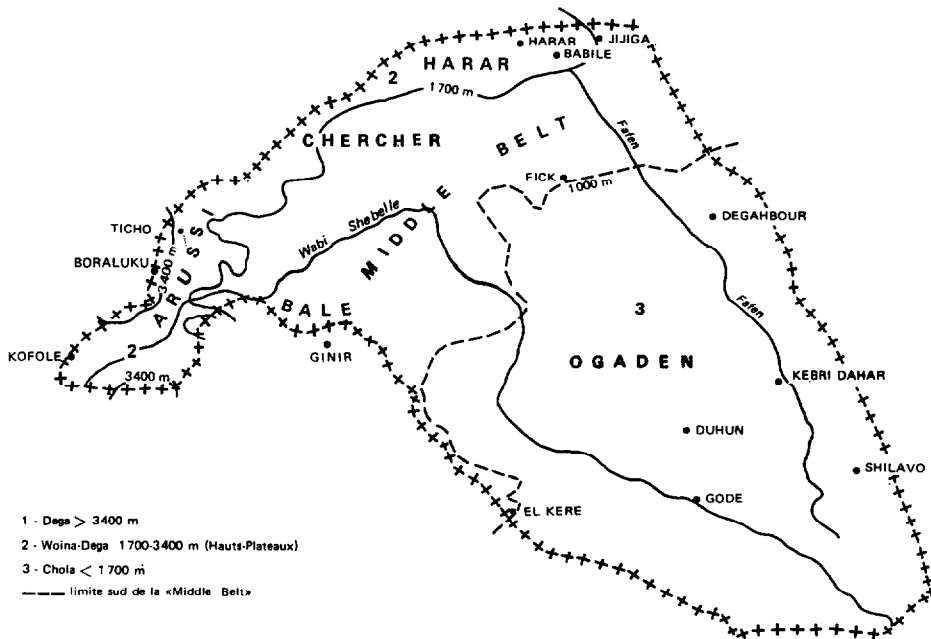


FIG. 3. — Divisions régionales et traditionnelles du Wabi Shebelle.

TABLEAU 1

## Les types climatiques

| Régime climatique                                | Caractéristiques des mois selon Peguy | $T_m$ annuelle (°C) | $P_m$ annuelle (mm)      | Altitude (m)             | Indice de Martonne | ETP annuelle Thornthwaite (mm) | Végétation climacique                             |
|--|---------------------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------------------|---|
| Tropical climat Ogadénien                        | 9 A + 3 P                             | 28,6 (1)            | 150-450<br>330 (1)       | 200-500<br>300 (1)       | 10 (1)             | 1 825 (1)                      | Fourré à Broschia minifolia et Delonix Elata      |
| Xérotérique climat Fickien                       | 9 O + 3 A                             | 20,3 (2)            | 400-800<br>604 (2)       | 500-1 700<br>1 000 (2)   | 20 (2)             | 480 (2)                        | Fourré à Acacia spp                               |
| Transition xérotérique-tropical climat éthiopien | 4 O + 5 A + 3 P                       | 19,6 (3)            | 800-1 200<br>880 (3)     | 1 700-2 400              | 30 (3)             | 890 (3)                        | Forêt Croton Macrostachys et Cordia abissinica    |
| Transition xérotérique tempéré climat guédébien  | 2 F + 6 O + 4 A                       | 13,3 (4)            | 800-804 (4)              | 2 400-2 500<br>2 500 (4) | 35 (4)             | 660 (4)                        | Pelouse à Pennisetum                              |
| Tempéré climat ticheen                           | 2 F + 10 O                            | 12,8 (5)            | 1 000-1 700<br>1 520 (5) | 2 500-3 400<br>3 200 (5) | 67 (5)             | 670 (5)                        | Forêt à juniperus procera et Podo carpus fracilor |
| Tempéré « froid » climat Buraluku                | 4 F + 8 O (6)                         | 10 (6)              | 2 000 (6)                | 3 500-4 200 (6)          |                    | 598 (6)                        | Ericacées et Alchemilla                           |

(1) station de Gode; (2) station de Midegalola; (3) station de Harar; (4) station de Adaba; (5) station de Ticho; (6) estimé à partir des données de la station de Ticho.

A: aride; P: pluviothermique; O: optimum; F: froid.

— le régime tempéré : *climat ticheen* (de la localité de Ticho) qui s'étend à tous les Hauts-Plateaux de l'Arussi ;

— le régime tempéré « froid » : *climat Boraluku* (du nom de cette montagne) des hauts sommets du Bale et de l'Arussi.

La diversité des régimes climatiques est encore soulignée par les calculs de l'indice d'aridité de Martonne (1942) et de l'évapotranspiration potentielle selon Thornthwaite et Matter (1957) (voir tabl. 1).

## 1.2. Réseau hydrographique et régime hydrologique

Le fleuve Wabi Shebelle est un cours d'eau permanent. Son intérêt est vital puisque dans le Sud Ogadénien, c'est pratiquement la seule source d'eau disponible toute l'année. Son module est relativement faible, 83,6 m<sup>3</sup>/s à Gode (Bauduin et Dubreuil), (1973)

néanmoins les possibilités d'irrigation sont excellentes, les zones alluviales intéressantes étant très étendues.

Les affluents à écoulement permanent se concentrent dans le Nord du Bassin. Par contre, vers le Sud, tous les affluents sont temporaires et sujets à des crues très brutales et de courte durée.

A l'Est, le Fafan, rivière temporaire de 450 km de longueur, est un faux affluent du Wabi Shebelle. Il va en effet se perdre bien avant sa confluence avec le Wabi Shebelle dans une succession de grandes cuvettes d'inondation.

## 1.3. La végétation et l'occupation humaine : reflets de l'altitude

Les types d'associations végétales sont liés à l'altitude et à la latitude. Cette dernière n'intervient que sur la densité de la végétation en zone aride (deux

saisons des pluies). On observe (Guillaumet, 1971) des formations végétales tropophiles au Nord à une altitude inférieure à 1 700 m, qui passent progressivement vers le Sud au fur et à mesure que l'on descend en altitude à une végétation xérophile, la zone de transition étant le Middle Belt (climat fickien).

### 1.3.1. AU-DESSUS DE 1 700 M, LA VÉGÉTATION EST FORESTIÈRE

1.3.1.1. Au-dessus de 3 400 m, ce sont les Ericacées (de 3 400 à 3 700 m) et les *Alchemilla* (au-delà de 3 700 m) qui colonisent les pentes et coiffent les sommets des grands massifs montagneux de l'Arussi et du Nord Bale. C'est le domaine du climat Boraluku. Ces zones froides peu propices à l'agriculture et à l'élevage sont pratiquement vierges.

1.3.1.2. Entre 2 400 et 3 400 m, la végétation est représentée par l'association forestière *Juniperus procera* et *Podocarpus gracilor*. Fortement dégradée par l'homme, elle ne subsiste que dans les zones difficiles d'accès. Le climat est tempéré Fickien et Guédebien, les paysages typiques de la vieille civilisation agraire éthiopienne : le peuplement est dense, l'habitat dispersé, les champs clos par des haies vives, les cultures tempérées (blé, lentilles, petits pois, lin et surtout le « tef », céréale à la base de l'alimentation) sont combinées avec l'élevage sur jachère ; la traction animale (mules ou zébus) est utilisée depuis de nombreux siècles.

1.3.1.3. Entre 1 700 et 2 400 m, l'association forestière à *Croton macrostachys* et *Cordia abyssinica* est également dégradée. C'est le domaine du climat euthiopien déjà plus chaud. L'occupation humaine est également très ancienne, principalement dans la région d'Harar et la technique des cultures en terrasses et banquettes est connue depuis fort longtemps. Les cultures sont de type méditerranéen ou tropical d'altitude : agrumes, café *Coffea arabica*, « chat » ou *Cata edulis* (euphorisant), maïs, patate douce, etc. sans oublier l'élevage, la viande de bœuf du Harar étant la plus estimée.

### 1.3.2. AU-DESSOUS DE 1 700 M, LA VÉGÉTATION EST UN FOURRÉ

Cette altitude marque également la limite de la sédentarisation. C'est également un autre monde : l'Ogaden, le domaine des nomades somalis conduisant, accompagnés de leurs chameaux, leurs grands troupeaux de vaches et de chèvres à la recherche de pâtu-

rages pendant les périodes sèches. Mais lors des petits intervalles pluvieux, ils se fixeront près des zones dépressionnaires ensemençant les zones humides avec du sorgho à cycle court et résistant au sel qui leur permettra de compléter leur alimentation lors des longues transhumances des saisons sèches.

Le peuplement est faible, les troupeaux peu nombreux, la pression du bétail est légère, la végétation naturelle peu ou non dégradée sauf dans les parties inondables du Wabi Shebelle et du Fafen.

1.3.2.1. Entre 500 et 1 700 m : c'est la zone à *Acacia spp.*, fourré assez lâche de 5 à 6 m de hauteur, caractéristique du climat fickien.

1.3.2.2. Entre 200 et 500 m : dans les conditions d'aridité très marquées du climat ogadénien, les associations végétales reflètent les conditions édaphiques locales déterminées par les roches-mères :

sur gypse : fourré à *Boswellia spp.* et *Jatropha riva*,

sur plateaux calcaires : fourré à *Boscia minifolia* et *Delonix elata*,

sur grès : fourré à *Gardenia ind.* et *Cordia gharaf*.

Malgré la faiblesse des précipitations (150-300 mm), le fourré atteint 3 à 4 m de hauteur et sa densité surprend sur les grès et les calcaires. C'est sans doute la répartition des pluies en deux saisons qui favorise le développement d'une végétation beaucoup plus dense que celle rencontrée en Afrique de l'Ouest dans les mêmes conditions globales d'aridité mais avec une seule saison des pluies.

## 1.4. Les Roches mères : la prédominance de matériaux riches en calcium (fig. 4)

Dans sa plus grande partie, le Bassin est formé d'assises sédimentaires (calcaires, gypses, grès) de pendage très faible vers le Sud-Est. Le socle granito-gneissique affleure dans le Nord (région de Harar). Vers le Nord-Ouest et l'Ouest, l'ensemble est recouvert par des formations volcaniques et cendreuses intercalées, épaisses. La succession stratigraphique est la suivante (Danielli, 1948 ; Bauduin et Riché, 1974) :

— Le socle granito-gneissique apparaît aux environs de Harar.

— Il est surmonté par le grès d'Adigrat provenant de l'érosion du granit.



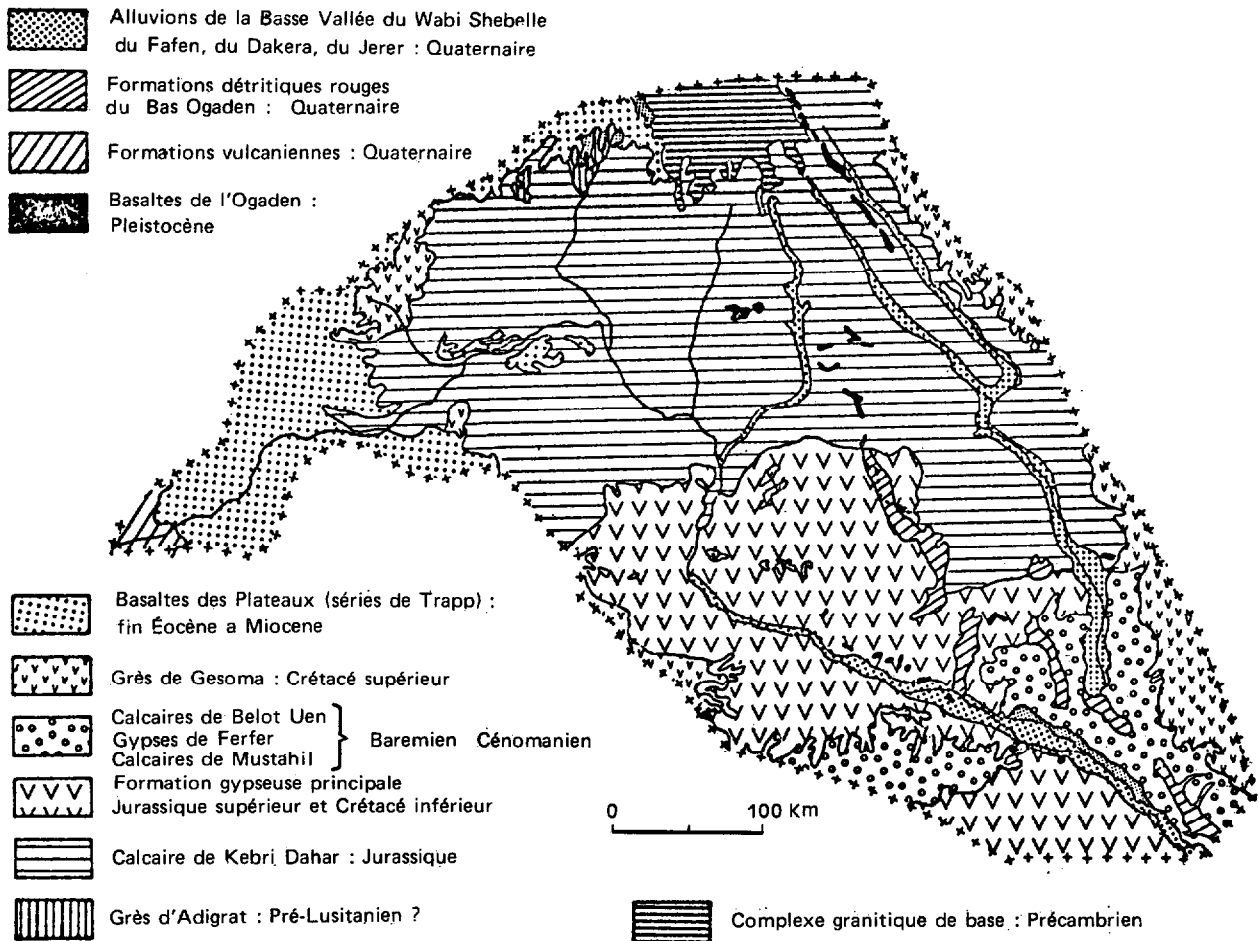


FIG. 4. — Esquisse géologique du bassin du Wabi Shebelle.

— Les calcaires de Kebri Dehar sont des calcaires massifs du Jurassique. Leur épaisseur dépasse 300 m. Ils affleurent dans la partie centrale et Nord et forment de vastes plateaux tabulaires.

— Vers le Sud, ils sont recouverts par la formation gypseuse principale de 300 à 400 m d'épaisseur du Jurassique inférieur et Crétacé inférieur donnant naissance à de petites collines arrondies.

— Celle-ci est elle-même coiffée par la formation des calcaires de Mustahil (Barrémien, Cénomaniens Inférieurs), calcaires dolomitiques d'une trentaine de mètres d'épaisseur qui forment des plateaux disséqués horizontaux dominant les niveaux gypseux.

— Vers l'Est, apparaît la formation transgressive des grès de Gésoma (Crétacé supérieur dont les épandages sont si perméables qu'ils n'ont pas permis l'installation d'un réseau hydrographique organisé (région de Shilavo).

— A l'extrême Nord et Nord-Ouest, les coulées basaltiques alternant avec des dépôts de cendres et de tufs volcaniques recouvrent sur une épaisseur de plus de 1 000 m dans la zone étudiée les calcaires du Jurassique. La coulée basaltique supérieure constitue l'armature horizontale des Hauts Plateaux d'altitude moyenne 2 500 m. Ceux-ci sont eux-mêmes couronnés par de hautes montagnes dont le pendage paraît à

direction verticale et avec une dominance de matériaux plus acides (diorites ou trachytes). Ces deux types structuraux auront des conséquences importantes sur la pédogenèse.

### 1.5. Géomorphologie et paysages : influence déterminante de l'accident tectonique de la Basse Vallée du Wabi Shebelle (fig. 5)

Les assises sédimentaires n'ont pratiquement pas subi de déformation depuis le Crétacé, ce qui explique l'horizontalité des plateaux calcaires dans le Sud, mais aussi celle des grands épanchements basaltiques des Hautes Terres. Par contre, les mouvements tectoniques liés à la formation des « Rift Valley » de l'Ouest se sont également étendus au Bassin du Wabi Shebelle. Toute la Basse Vallée du fleuve entre Imi et

Ferfer sur une longueur de 400 km et une largeur de 50 km paraît être un fossé d'effondrement rectiligne jalonné par un chapelet de petites collines doléritiques. La Basse Vallée du Fafen paraît également avoir la même origine.

Les grands accidents géologiques de la fin tertiaire ont provoqué la rupture de l'équilibre hydrostatique entre le Sud et le Nord du Bassin. Il s'en est suivi une reprise d'érosion très forte se traduisant par la formation de canyons de 500 à 800 m de profondeur dans toute la partie centrale du Bassin (Middle Belt), avec de nombreux rapides et des chutes (chutes de Melka Wakana) et, par contre-coup, un alluvionnement important dans la partie aval du cours du Wabi Shebelle. Ainsi le fleuve est jeune dans les parties moyenne et inférieure de son parcours. Peu après sa sortie des canyons, il serpente dans une vallée encombrée par ses alluvions, recoupant ses propres méandres, chan-

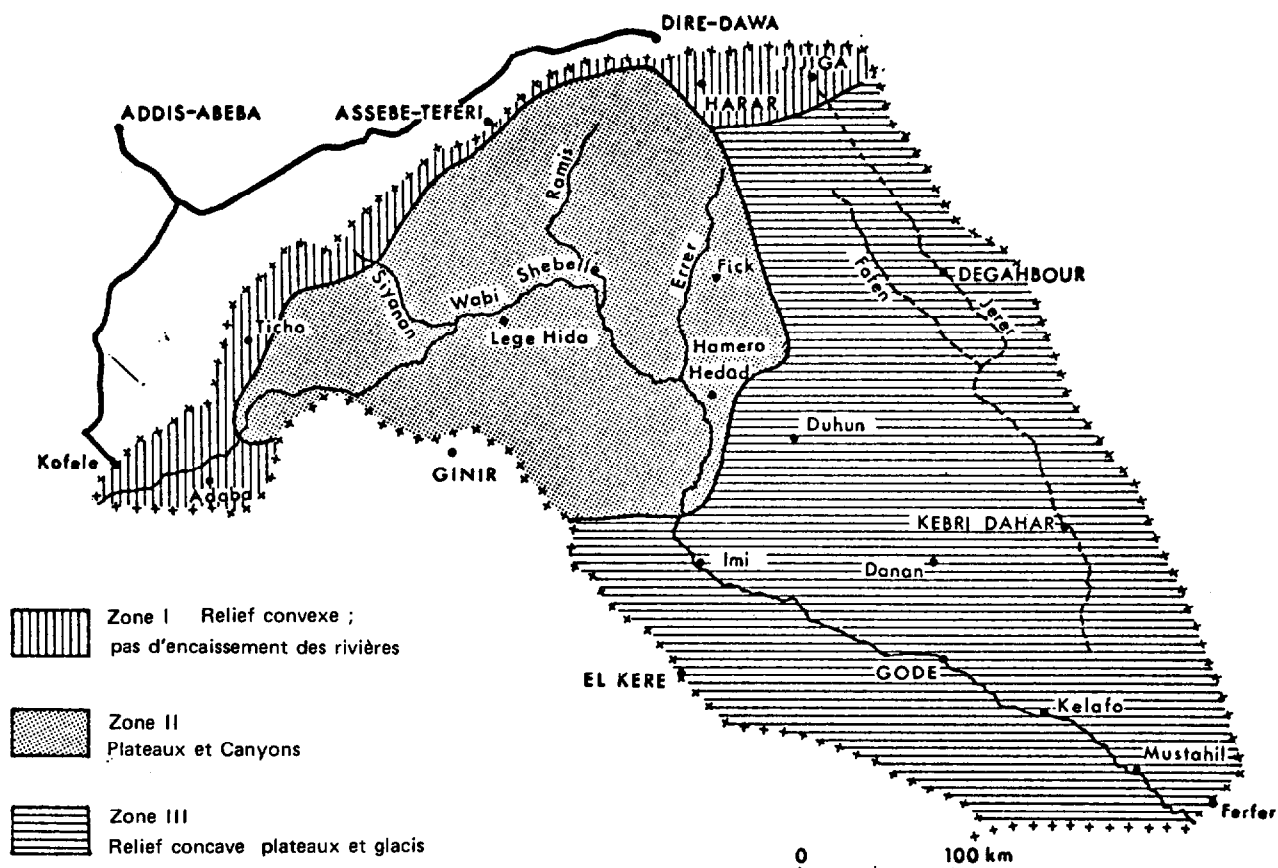


FIG. 5. — Esquisse géomorphologique du bassin du Wabi Shebelle.

geant son lit à l'occasion de fortes crues. Par contre, la masse des Hauts Plateaux, sous-tendue par une armature basaltique, a résisté à l'érosion et présente un réseau hydrographique peu encaissé de vallées suspendues qui vont rejoindre les canyons par des chutes.

L'érosion géographique et ses conséquences ainsi que les influences climatiques permettent de définir trois provinces géomorphologiques :

— la bordure Nord et Nord-Est sous climat éthiopien fickien et Boraluku entre 2 000 et 4 000 m. Malgré l'altitude, le relief est mou, le drainage est bon. L'altération et la dissolution prédominent (zones des andosols, sols fersiallitiques, sols calcimagnésiques). Les remaniements sont peu visibles. L'alluvionnement est faible dans les vallées, les eaux des rivières sont peu chargées en saison des pluies ;

— la zone centrale sous climat tichéen au Nord, fickien plus au Sud. C'est la région des plateaux basaltiques ou calcaires découpés par de profonds canyons. C'est encore un paysage où l'altération domine mais où règnent sur les plateaux des conditions de mauvais drainage liées à l'horizontalité des couches géologiques (dominance des vertisols et des sols à différenciation calcaire) ;

— la zone Sud et Nord-Est sous climat Ogadénien et fickien où l'altération se combine avec des transports de matériaux importants. Dans le Nord-Est, les stone-lines caractérisent les glacis (Riché et Ségalen, 1973). Vers le Sud, dans la région gypseuse, de grandes quantités de sédiments sont transportées pendant les courtes saisons des pluies provoquant la formation de grandes zones de déjection ou le comblement de petites cuvettes. Les témoins calcaires qui surmontent les gypses se raccordent à ceux-ci par des versants concaves typiques des zones arides avec, là aussi, des stone-lines de cailloux calcaires (Riché et Ségalen, 1971).

## 2. LE CLIMAT ET LA DYNAMIQUE DU CALCIUM DANS LA CLASSIFICATION DES SOLS

La classification des sols adoptée pour le Bassin du Wabi Shebelle s'inspire directement du document rédigé par le CPCS (1967). Les sols d'Ethiopie étant jusqu'alors peu connus, des difficultés sont apparues pour la classification de certains types de sols. En effet,

— *du point de vue climatique*, l'aridité est très marquée en dépit de la proximité de l'Equateur : une

grande partie du Bassin appartient au régime tropical, mais des secteurs importants relèvent de climats de type méditerranéen ou tempéré, sans toutefois que tous les caractères reconnus à ceux-ci soient présents en même temps. D'où les difficultés pour les sols classés sur des bases climatiques : sols isolumiques et sols brunifiés.

— *du point de vue des roches mères* : la dominance des roches mères riches en calcium est d'une grande importance et détermine dans de nombreux cas les caractères morphologiques liés à la dynamique des carbonates et des sulfates. Ainsi, la classe des sols isolumiques a été abandonnée et remplacée par deux classes :

— la classe des sols à différenciation calcaire, suivant en cela les idées de Ruellan (1966-1971),

— la classe des sols à différenciation gypseuse, par analogie avec la précédente.

Au niveau du groupe apparaissent les types de différenciation calcaire ou gypseuse.

Pour les vertisols et les sols hydromorphes, la différenciation est restée au niveau du groupe ou du sous-groupe.

## 3. LES GRANDS TYPES DE SOLS ET LEUR RÉPARTITION

Toutes les classes de sols à l'exception des sols minéraux bruts, des sols podzolisés et des sols ferrallitiques (voir fig. 6) sont représentées (Riché et Ségalen, 1974).

### 3.1. Les sols peu évolués

3.1.1. LES SOLS PEU ÉVOLUÉS XÉRIQUES (1)\* à l'extrême Sud-Est du Bassin, sous climat ogadénien avec une pluviométrie de 100 mm, occupent de grandes étendues planes sur des dalles gypseuses. Le profil est de type A (C) R. De couleur gris jaune (2,5 Y 5/4), l'horizon A<sub>1</sub> de gypse poudreux de désagrégation, mélangé à peu de matière organique (0,5 - 1 %), passe à 10 cm de profondeur à l'horizon C de démantèlement de la dalle sous-jacente. L'ensemble du sol est calcaire : 21 % dans l'horizon au-dessus de la dalle; le pH voisin de 8,0. La conductivité de l'extrait de la pâte saturée est élevée : 15

(\*) Les numéros renvoient à la légende de la carte des sols, figure 6.

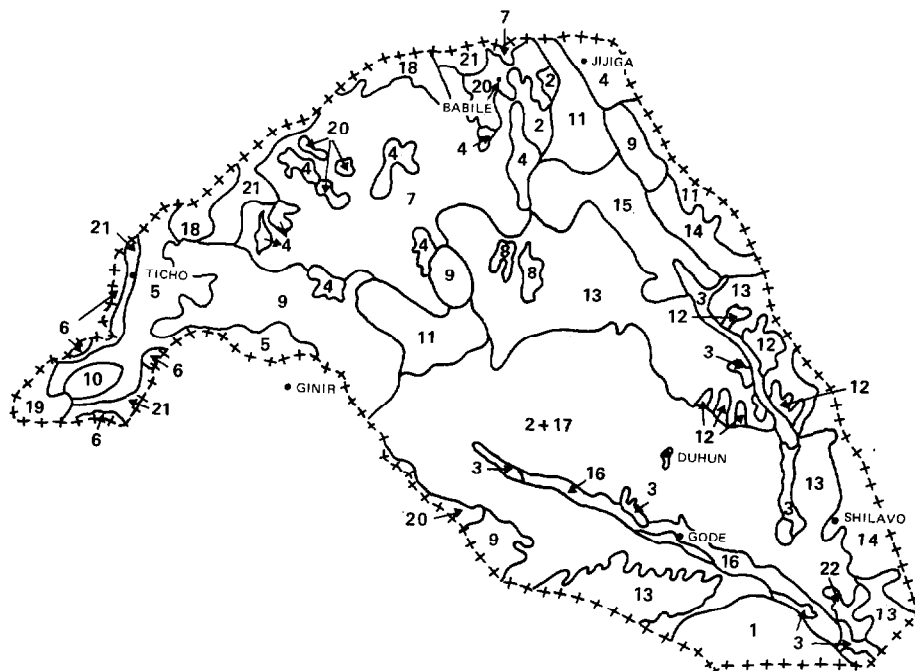


FIG. 6. — Carte pédologique du bassin du Wabi Shebelle.

*Sols peu évolués*

1. xériques
2. d'érosion

*Vertisols*

- carbonatés
3. sols bruns rouges à calcaire diffus et cristaux de gypse
  4. sols à amas et nodules calcaires calciques
  5. vertisols gris noir à amas et nodules calcaires

*Andosols*

6. différenciés saturés mélaniques.

*Sols calcimagnésiques*

7. Ass. de sols bruns et rendzines { calcaires cl. fickien  
calciques cl. éthiopien

*Sols à différenciation calcaire*

- à horizon mélanique
8. sols bruns à calcaire diffus
  9. sols brun rouge à amas et nodules
  10. sols à encroûtement massif friable - chernozems

11. sols bruns à encroûtement massif durci à horizon pallide
12. sols rouge jaune à calcaire diffus
13. sols rouge jaune à amas et nodules, carbonatés (R.M. calcaires)
14. sols rouge vif à amas et nodules, calciques (R.M. grès)
15. sols brun clair à encroûtement massif durci, carbonatés

*Sols à différenciation gypseuse*

- à horizon pallide
16. sols brun jaune à rouge jaune à gypse poudreux
  17. sols rouge jaune encroûtés

*Sols brunifiés*

18. sols bruns eutrophes
19. sols bruns mésotrophes hydromorphes

*Sols fersiallitiques*

20. sols rouges fersiallitiques saturés
21. sols rouges fersiallitiques faiblement désaturés ou saturés

*Sols sodiques*

- à structure non dégradée
22. sols salins à efflorescences salines.

mmhos/cm, le chlorure de sodium accompagnant le sulfate de calcium dans les fonctions gypseuses.

3.1.2. LES SOLS PEU ÉVOLUÉS D'ÉROSION (2) : le profil est de type AR. Ils s'observent dans tout le Bassin sur des pentes fortes. Sur socle granitique et sur les

grès, ils sont calciques ; sur calcaires ou sur gypses, ils restent carbonatés.

Vers le Nord, ils se limitent aux pentes fortes des canyons, mais vers le Sud, sur les gypses, ils occupent des surfaces importantes (11 % de la superficie du

bassin) et leur érosion constante est une source importante de sulfate de calcium qui va se déposer dans les zones basses. Ils sont cartographiés en association avec les sols à encroûtement gypseux. Le profil observé est le suivant :

0 - 10 Cm. gris jaune (2,5 Y 8/4) ; poudre de gypse  
 A calcaire,  
 1 % de matière organique  
 10 cm + dalle de gypse en place  
 R

Sur les formations gypseuses, les teneurs en carbonates sont de 10 à 20 %. Le pH voisin ou supérieur à 8. La conductivité de l'extrait de la pâte saturée est élevée entre 10 et 15 mmhos/cm indiquent une forte quantité de sels solubles principalement du chlorure de sodium.

Le manque d'évolution des sols xériques est essentiellement dû à l'aridité du climat. La dissolution du gypse est réduite et les processus de désagrégation dominant. Les concentrations secondaires en sels sont faibles.

Les sols peu évolués d'érosion sont par contre constamment rajeunis par l'érosion puisqu'aussi bien ils se rencontrent sous des conditions climatiques où d'autres sols sont nettement plus différenciés.

### 3.2. Les vertisols

Les vertisols occupent 11 % de la surface du Bassin et se développent toujours dans des conditions de mauvais drainage externe sur les plateaux basaltiques (Arussi) et calcaires (Middle Belt), mais aussi dans certaines zones alluviales ou dépressionnaires de l'Ogaden. Ils sont épais de 1 à 4 m sur les plateaux basaltiques avec :

— un horizon A à structure grumosolique très développée, de 20 à 40 cm d'épaisseur.

— un horizon B fortement structuré très net, avec faces de glissement et fentes en coin.

— un horizon B<sub>Ca</sub> ou B<sub>sa</sub> d'accumulation de calcaire (nodules) ou de gypse (cristaux) selon les régions.

Les teneurs en matière organique sont toujours élevées, supérieures à 3 %, même dans les zones les plus sèches où ces sols occupent des zones à pédo-climat temporairement humide (dépressions, alluvions inondables).

La montmorillonite domine nettement dans les sols dérivés des basaltes des plateaux et des alluvions d'origine basaltique de la Basse-Vallée du Wabi

Shebelle, à plus de 500 km de distance. Sur les calcaires, la montmorillonite s'accompagne fréquemment d'illite.

La présence constante d'un horizon grumosolique paraît être la règle.

Ce caractère a été noté au niveau de la sous-classe. Des groupes carbonatés et calciques et des sous-groupes tenant compte du type d'accumulation calcaire ou gypseuse ont été définis.

*Le groupe carbonaté avec A et B carbonatés* comprend :

3.2.1. LES VERTISOLS BRUNS ET BRUN ROUGE A CALCAIRE DIFFUS ET A CRISTAUX DE GYPSE (3) des zones chaudes et sèches de climat ogadénien (100 - 400 mm de pluies), sur alluvions d'origine basaltique des Basses Vallées du Wabi Shebelle et du Fafen (sols bruns) et des petites dépressions parsemant les formations gypseuses de l'Ogaden (vertisols brun-rouge). Dans ces sols, on n'observe aucune migration de calcaire, mais le gypse s'accumule à une profondeur moyenne de 1,5 m sous forme de cristaux de gypse saccharoïde. Dans le cas des vertisols bruns, l'origine du gypse est liée au battement d'une nappe phréatique contaminée par l'environnement gypseux des alluvions basaltiques. Les teneurs en matière organique sont de l'ordre de 3 % dans l'horizon A<sub>1</sub> et le pH est voisin de 8 dans tout le profil. Dans l'horizon d'accumulation de gypse, la conductivité peut augmenter fortement (jusqu'à 22 mmhos/cm) en relation avec une certaine concentration en chlorure de sodium.

3.2.2. LES VERTISOLS A AMAS ET NODULES CALCAIRES (4) s'observent sur colluvions ou en place sur les plateaux calcaires horizontaux ou faiblement ondulés de la « Middle Belt » sous climat fickien (400-800 mm de pluies). Le calcaire s'accumule vers 1 m de profondeur sous forme de nodules calcaires friables. L'ensemble du profil reste cependant calcaire et il apparaît que les nodules proviennent de l'action d'une nappe phréatique temporaire au contact avec le matériau calcaire en place. Dans les régions de Fick et Guebiba, les nodules reposent directement sur le calcaire en place. Par contre, sur les plateaux ondulés de Jijiga, ceux-ci reposent sur un encroûtement calcaire massif et nodulaire que l'on rencontrera également dans les sols à différenciation calcaire de position plus haute associés aux vertisols. Les teneurs en matière organique dépassent 3 % dans l'horizon grumosolique dont l'épaisseur moyenne est de 30 cm. Le pH est alcalin voisin de 8.

Le groupe calcique avec A et B décarbonatés est le plus important et occupe les grands plateaux basaltiques du Nord Bale et de l'Arussi, à plus de 2 500 m d'altitude, sous climat tichéen (800-1 600 mm de pluies). Il comprend :

3.2.3. LES VERTISOLS GRIS NOIR A AMAS ET NODULES CALCAIRES (5) : ces vertisols tout-à-fait caractéristiques sont épais de plus de 1,5 m, mais peuvent atteindre plus de 4 m dans les parties basses des ondulations des plateaux. Dans la région de Robi (Arussi), sur une pente d'une faible ondulation, on observe le profil suivant :

0-10 cm, A :

— gris noir (2,5 YR 4/3) argileux, grumeleux très fragile

10-70 cm, A<sub>3</sub> :

— gris noir (2,5 YR 4/3) argileux lourd, prismatique fin, assez fragile

70-180 cm, B :

— gris noir (2,5 YR 4/3) argileux lourd, prismatique très grossier, non fragile, faces de glissement très nettes

180-300 cm, B<sub>ca</sub> :

— gris olive (5 YR 5/2) argileux lourd, prismatique très grossier, nodules calcaires, amas peu nombreux, faces de glissement très nettes.

300 cm :

— dalle de basalte à altération scoriacée.

La structure est très divisée sur 70 cm bien que l'horizon grumosolique n'ait que 10 cm d'épaisseur. Ainsi sur 70 cm, la pénétration des racines est très forte mais diminue ensuite brusquement et fortement dans l'horizon B. La teneur en matière organique dépasse 8 % dans l'horizon A<sub>1</sub> et le pH est neutre, parfois légèrement acide en surface.

Le calcaire provenant de l'altération des basaltes a été complètement éliminé des horizons supérieurs qui restent cependant saturés. Le calcaire se concentre sous forme de nodules au-dessus de la dalle de basalte en altération.

### 3.3. Les andosols des hautes montagnes de l'Arussi et du Bale (4)

Les andosols se rencontrent à partir de 3 200 m d'altitude sur les hautes chaînes de montagnes basaltiques qui limitent le Bassin à l'Ouest et au Sud sous climat tempéré « froid » du type Boruluk. L'abondance des produits amorphes ou allophanes est facilement décelée par le test de Fieldes et Perrott (1966). Ce sont des andosols différenciés, désaturés et mélaniques, présentant un horizon A brun clair à sec,

noir en humide, très organique, de 60 cm d'épaisseur passant progressivement à un B structural brun rougeâtre. La dalle de basalte apparaît vers 1 m.

Les conditions climatiques qui règnent à ces altitudes favorisent l'accumulation de la matière organique qui, de 20 % dans le A, est encore de 14 % dans le B. Ils sont fortement désaturés et acides. Le degré de saturation de 16,8 % dans le A descend à 10,9 % dans le B. Le pH est voisin de 5,5. Le fer ne migre pas et le rapport Fer libre/Fer total se maintient à 0,28 dans tout le profil.

### 3.4. Les sols riches en carbonates et en sulfate de calcium

Ils occupent 58 % de la superficie de Bassin. En fonction de la dynamique des sols [(dissolution - lixivation) et (dissolution - redistribution)], les trois classes suivantes ont été définies :

— la classe des sols calcimagnésiques où le calcaire du sol est un héritage de la roche mère en cours de dissolution,

— les sols à différenciation calcaire où les carbonates sont secondaires et s'accumulent dans une partie du profil,

— les sols à différenciation gypseuse, où les sulfates sont secondaires et s'accumulent dans une partie du profil.

Ces deux dernières classes correspondent à la classe des sols isohumiques du CPCS (1967). Cette appellation n'a pas été retenue pour les raisons suivantes :

— la répartition isohumique n'est observée que pour les sols très pauvres en matière organique.

— les critères matière organique et calcaire (ou gypse) sont en compétition, mais les variations morphologiques liées à la redistribution des carbonates ou des sulfates sont très marquées et permettent une distinction commode et logique des différents types de sols.

— la classification des sols isohumiques du CPCS basée sur des considérations climatiques était difficilement applicable telle quelle au niveau du Bassin.

#### 3.4.1. LES SOLS CALCIMAGNÉSQUES DE LA MIDDLE BELT ET DE L'HARAR (7)

Ces sols sont représentés par une association de rendzines à profil AR et de sols bruns à profil A (B) R.

L'horizon A est brun foncé granulaire. Dans les sols bruns, l'horizon B structural brun passe à brun

rouge avec une structure polyédrique, parfois prismatique. L'ensemble repose brutalement sur des blocs de calcaire dur présentant des angles émoussés et des surfaces lisses et ondulées caractéristiques du processus de dissolution.

— Sur les plateaux calcaires du Sud Chercher sous climat fickien, les sols bruns calcaires sont associés à des rendzines carbonatées. La décarbonatation du sol est incomplète. Les teneurs en carbonates de 1 à 14 %, dans l'horizon A reste de l'ordre de 15 % dans l'horizon (B). Le pH demeure légèrement supérieur à 8.

— Sur les collines calcaires de l'Harar sous climat éthiopien plus humide, domine une association de sols bruns calciques et de rendzines calciques où les horizons supérieurs sont entièrement décarbonatés. Le pH reste voisin de 7, ou est légèrement inférieur à cette valeur.

Les teneurs de matière organique sont élevées, de 4 % pour les sols bruns calcaires à 6 % pour les sols bruns calciques. Dans les horizons A des rendzines calciques, ce taux dépasse 10 %.

Le minéral argileux dominant est l'illite héritée de la roche mère. A la base du B, apparaît la montmorillonite quand les caractères vertiques s'affirment.

### 3.4.2. LES SOLS A DIFFÉRENCIATION CALCAIRE

Ils sont représentés dans tout le bassin sous des conditions climatiques variées, surtout sur des matériaux dérivés de calcaires mais également sur des colluvions de grès, des altérations basaltiques ou des cendres andésitiques.

Le profil est de type A (B) B<sub>Ca</sub>. Les variations portent sur la nature de l'horizon A et sur la forme de l'accumulation calcaire dans le B<sub>Ca</sub>, données retenues pour la classification de ces sols.

Deux sous-classes ont été définies en fonction des horizons de surface d'après les spécifications de « Soils Units » de la FAO (1973) :

— *les sols à horizon mélanique* dont l'horizon de surface est foncé, à structure bien développée, saturé en bases à plus de 50 %, avec au moins 1 % de matière organique sur 18 cm (sous climats fickien, éthiopien et guedebien).

— *les sols à horizon pallide* dont l'horizon supérieur est clair, moins épais avec moins de 1 % de matière organique (sous climat ogadénien).

L'accumulation calcaire est notée au niveau du groupe et présente les formes suivantes :

— accumulation diffuse : l'accumulation de carbonates n'est pas visible à l'œil nu.

— accumulation à amas et nodules : l'accumulation est discontinue avec des nodules sphériques et des amas modulaires plus ou moins durcis.

— encroûtement massif friable : l'accumulation est continue, mais faible et non stratifiée.

— encroûtement massif durci : l'accumulation est continue et formée de nodules soudés entre eux par un ciment très dur, avec pellicules rubannées au sommet de l'encroûtement.

Les sous-groupes sont basés sur l'absence (s/g calcique) ou la présence (s/g carbonaté) de calcaire dans l'horizon supérieur ou sur l'apparition de caractères vertiques dans le B (s/g vertique).

#### 3.4.2.1. Les sols à horizon mélanique

1) *Les sols bruns à calcaire diffus* (8). Se rencontrent uniquement sur des alluvions récentes provenant des calcaires dans le Centre du Bassin sous-climat fickien. Le profil est de type A (B) R, parfois A R. La structure est granulaire dans l'horizon A avec 2 % de matière organique. Le calcaire reste à l'état diffus (32-36 %). Le pH est compris entre 8,2 et 8,4. On n'observe pas de dissolution de calcaire, ce qui les différencie des sols calcimagnésiques.

2) *Les sols brun rouge à amas et nodules* (9). Ce sont tous des sols carbonatés. Ils se développent sous climat de type fickien sur les vastes zones d'épandage de l'arène d'altération des grès reposant sur des formations calcaires dans les régions d'El Kéré, Ginir-Sheik-Ussein et sur les colluvions issues des calcaires et des grès au Nord de Degahbour. La morphologie est la suivante :

0-25 cm, A<sub>11</sub> :

— brun rouge foncé (RYR 3/3), sableux fin, particulière à tendance grumeleuse très fine, très fragile, 1,2 % de calcaire.

25-70 cm, A<sub>12</sub> :

— brun rouge (5 YR 4/3), sableux fin à très fin, polyédrique émoussé fin. Fragile. 3,6 % de calcaire.

70-100 cm, B<sub>Ca</sub> :

— brun rouge (5 YR 4/4), sableux fin argileux ; polyédrique émoussé fin, nodules calcaires de 0,5 à 2 cm très nombreux. Fragile. 7,7 % de calcaire dans la terre fine.

100 cm + :

— dalle calcaire en place.

Sur colluvions dans l'Ouest apparaissent des concrétions dans le B<sub>Ca</sub>. Le taux de matière organique, de 2 % dans le A<sub>11</sub>, descend progressivement à 1 % dans le B<sub>Ca</sub>. Il y a augmentation progressive de la teneur en carbonates avec la profondeur

mais l'accumulation reste toutefois faible. Celle-ci s'accompagne d'une élévation du pH qui passe de 7,7 dans l'horizon A<sub>11</sub> à 8,3 dans l'horizon B<sub>Ca</sub>. L'illite héritée du calcaire et la kaolinite héritée des grès sont les minéraux argileux dominants.

3) *Les sols à accumulation massive friable : les chernozems* (10). Des sols identifiés comme des chernozems (Riché et Ségalen, 1971) ont été observés sur les dépôts de tufs andésitiques de la plaine de Guedeb en Arussi à 2 500 m d'altitude sous climat guédébien et sous végétation de pelouse graminéenne (*Pennisetum schimperii*). Le profil suivant est observé :

0-7 cm, A<sub>11</sub> :

— brun foncé (7,5 YR 4/4), sableux très fin, grenu très fragile, non calcaire.

7-35 cm, A<sub>12</sub> :

— brun foncé (7,5 YR 4/4), sableux très fin, grenu très fragile, non calcaire.

35-75 cm, A<sub>13</sub> :

— brun (7,5 YR 5/4), sableux très fin limoneux, polyédrique à tendance grenue fragile, non calcaire.

75-105 cm, (B) :

— brun jaune (10 YR 5/6), argilo-sableux très fin, polyédrique émoussée grossière fragile, traces de calcaire.

105-150 cm, (B<sub>Ca</sub>) :

— accumulation calcaire massive friable, contenant des poupées calcaires.

150 cm + (R) :

— tuf andésitique grisâtre, non calcaire.

La classification de ces sols parmi les chernozems est basée sur les faits suivants :

— la structure grenue très nette, observée sur une grande épaisseur, avec une forte pénétration de la matière organique (6,2 % dans le A<sub>11</sub>, 2,7 % dans le A<sub>12</sub> et encore 2 % dans le A<sub>13</sub>).

— la présence d'un horizon d'accumulation calcaire (15,6 % de carbonates) du type « soft powdery lime » très friable, contenant quelques « poupées » calcaires : le pH augmente régulièrement avec la profondeur et passe de 6,6 en surface à 7,6 dans l'horizon (B) pour atteindre 9 dans l'horizon B<sub>Ca</sub>.

— la décalcarification des horizons A et B, ceux-ci restant pratiquement saturés.

A la différence des chernozems de Russie à dominance de Montmorillonite héritée, les chernozems du Guedeb contiennent de l'illite avec un peu de kaolinite.

4) *Les sols bruns à encroûtement massif durci* (11). Ils occupent les positions hautes du paysage, soit sur des collines ou des mamelons calcaires dans le Nord-Est et le Sud-Ouest du Bassin, soit sur les grands plateaux gréseux du Nord-Est. Le climat est de type fickien.

Les sols sont peu épais avec un horizon A<sub>1</sub> de 20 cm d'épaisseur reposant sur un B<sub>Ca</sub> formé d'un encroûtement nodulaire durci.

Dans les sols développés sur calcaires, l'horizon A est calcaire. L'horizon B<sub>Ca</sub> contient plus de 60 % de carbonates et passe progressivement à un C<sub>Ca</sub> friable d'altération du calcaire en place. Le taux de matière organique est élevé et voisin de 3 %. Par contre, sur grès, l'horizon A est calcique et l'encroûtement constitué par des éléments quartzueux soudés par un ciment calcaire est beaucoup plus pauvre en carbonates. Le taux de matière organique est de 2 % dans l'horizon A<sub>1</sub>.

#### 3.4.2.2. *Les sols à horizon pallide de l'Ogaden*

Ils s'observent dans les zones les plus sèches et les plus chaudes du bassin sous climat ogadénien, sur matériau colluvial ou en place dérivé des calcaires et des grès.

1) *Les sols rouge jaune à accumulation calcaire diffuse* (12) occupent les zones d'alluvions récentes dérivées de calcaire et de grès dans la région de Kebri Dahar. L'ensemble du sol est calcaire (20 %) mais celui-ci reste à l'état diffus. La teneur en matière organique est faible, voisine de 1 % dans l'horizon supérieur.

2) Les sols à amas et nodules calcaires forment la plus grande partie des sols développés sur calcaire ou grès dans le Sud du Bassin : *sols carbonatés dérivés de calcaire, sols calciques dérivés de grès*.

a) Les sols rouge jaune carbonatés (13) s'étendent sur plus de 25 000 km<sup>2</sup>, soit 14 % de la surface du Bassin, sur les grands plateaux calcaires de l'Ogaden, avec la morphologie suivante :

0-10 cm, A :

— jaune rouge (5 YR 6/8), sableux très fin, limoneux, polyédrique, particulaire ; calcaire 30 %.

10-30 cm, B<sub>Ca</sub> :

— rouge jaune clair (5 YR 5/3) ; sableux très fin limoneux ; nombreux nodules calcaires dont la taille moyenne est 2 cm très durcis et à structure concentrique, calcaire (31 %).

30 cm, + R :

— dalle de calcaire dur horizontale sur place.

Les teneurs en matière organique sont très faibles, de l'ordre de 1 % et le minéral dominant est l'illite héritée des calcaires. Le pH est compris entre 8,2 et 8,3, ce qui traduit l'influence des carbonates.

b) Les sols rouge vif calciques (14) se développent sur les grandes zones d'épandage des grès rouges des régions de Shilavo et Degabbour, reposant sur



les calcaires et sans réseau hydrographique organisé. Les sols sont généralement épais, mais les dalles calcaires apparaissent en certains endroits.

A Shilavo, on observe le profil suivant :

0-15 cm, A<sub>1</sub> :

— rouge (2,5 YR 5/8), sableux grossier et fin, particulière, meuble, non calcaire.

15-120 cm, A<sub>3</sub> :

— rouge (2,5 YR 4/8), sableux grossier et fin, particulière, meuble, non calcaire.

120 cm, B<sub>Ca</sub> :

— rouge (2,5 YR 5/8), sableux grossier et fin, particulière, nombreux nodules de forme irrégulière de 1 à 4 cm friables, formés de grains de quartz cimentés par un ciment calcaire blanc.

Les teneurs en matière organique sont très faibles dans tout le profil, 0,4 %.

L'argile dominante est la kaolinite héritée du matériau originel.

Les nodules formés sur calcaires sont des nodules durcis se formant dans un milieu carbonaté soumis à des variations d'humidité au niveau de la dalle. Par contre, les nodules formés sur grès sont friables et sont le résultat de la contamination d'un milieu calcaire (le grès) par les mouvements descendants des eaux qui se chargent en calcium à partir des dalles calcaires sous-jacentes.

c) Les sols brun clair à encroûtement massif durci carbonatés (15). Ils occupent les sommets des petites collines calcaires de la région de Degahbour et sont peu épais avec le profil suivant :

0-25 cm, A<sub>1</sub> :

— brun clair (10 YR 6/4), sableux très fin limoneux, particulière, calcaire 42 %.

25-35 cm, B<sub>Ca</sub> :

— encroûtement nodulaire durci formé d'éléments calcaires gris jaune nodulaires enrobés dans un ciment calcaire rubanné jaune clair.

35-90 cm, R :

— dalle calcaire présentant par place un début d'altération en donnant des éléments blancs.

L'horizon A contient 1 % de matière organique. Le minéral argileux dominant est l'illite héritée des calcaires. Le pH est de 8,4 dans l'horizon A<sub>1</sub>.

### 3.4.3. LES SOLS A DIFFÉRENCIATION GYPSEUSE A HORIZON PALLIDE DE L'OGADEN

Ils se développent dans la partie Sud du Bassin sous climat ogadénien sur colluvions ou alluvions gypso-calcaires. Les sols sont carbonatés et présentent toujours un horizon A pallide, avec un taux de matière organique voisin ou inférieur à 1 %. Le pH

voisin de 8,0. Les carbonates ne sont à aucun moment mobilisés ; par contre, les sulfates s'individualisent dans le B sous forme de cristaux (gypse poudreux) ou d'une croûte continue. L'accumulation correspondant aux amas et nodules n'a pas été observée pour les gypses.

3.4.3.1. *Les sols bruns jaune et rouge jaune à gypse poudreux* (16) se forment sur les alluvions d'origine basaltique des basses vallées du Wabi Shebelle et du Fafen (sols brun jaune) et dans les petites dépressions des gypses de l'Ogaden soumises à de très faibles inondations (sols rouge jaune). Les sols brun jaune présentent des stratifications de texture variable. L'accumulation de gypse dans ce cas se fait plutôt vers 1 m - 1,5 m de profondeur. Dans les sols rouge jaune, des caractères vertiques frustes apparaissent vers 1 m de profondeur. C'est là que se produit l'accumulation du gypse qui s'accompagne à ce niveau d'une augmentation des teneurs en chlorure de sodium, avec une élévation de la conductivité de l'extrait de pâte saturée qui passe de 1 mmhos/cm en surface à 7 mmhos/cm vers 1 m de profondeur.

Les minéraux argileux sont essentiellement de l'illite avec un peu de kaolinite héritées. La montmorillonite est héritée (sols brun jaune) et de néoformation (sol rouge jaune).

### 3.4.3.2. *Les sols rouge jaune encroûtés* (17)

Ces sols occupent les zones alluviales très planes sur les glacis des collines de gypse (région de Danan Godé) surmontées de terrains calcaires tabulaires ou gréseux (région de Duhun) et sur les alluvions des oueds. L'érosion par recul des versants des plateaux calcaires, puis celle des gypses, sous climat semi-aride, a fourni un matériel considérable qui est venu s'étendre sur les glacis ou a été transporté vers l'aval par un système de rivières temporaires important, les alluvions remplissant de petites dépressions et finalement formant de grands cônes de déjection aux confins des vallées du Wabi Shebelle ou du Fafen.

Sur alluvions, les sols sont profonds avec le profil suivant :

0-30 cm, A<sub>1</sub> :

— jaune rouge (7,5 YR 6/6), sableux très fin argileux, polyédrique émoussé à tendance particulière, calcaire.

30-80 cm, A<sub>3</sub> :

— rouge jaune (5 YR 5/8), argileux, polyédrique émoussé, calcaire.

80-120 cm, B :

— rouge jaune (5 YR 5/8), argileux, compact, calcaire.

120-200 cm, B<sub>gy</sub> :

— encroûtement gypseux formé de cristaux de gypse soudés entre eux, friable.

Les sols sont calcaires et contiennent de 25 à 35 % de carbonates ; les teneurs en matière organique faibles moins de 1 % ; le pH est légèrement supérieur à 8,0. La conductivité de l'extrait de pâte saturée, faible en surface 2 mmhos/cm, augmente fortement dans l'encroûtement gypseux, 24 mmhos/cm ce qui dénote un accroissement important des teneurs en chlorure de sodium qui atteignent 5,6 %.

L'épaisseur de l'encroûtement peut atteindre plusieurs mètres à proximité des grands oueds. L'accumulation gypseuse s'accompagne fréquemment d'un accroissement important des teneurs en chlorure de sodium et en bore. Sur colluvions, les sols sont moins épais, 50 cm en moyenne au-dessus de l'encroûtement qui repose directement, vers 1 m, sur la dalle de gypse en place.

### 3.5. Les sols brunifiés des zones fraîches et humides de Chercher et de l'Arussi

Au-dessus de 2 500 m, sur les pentes des massifs basaltiques du Chercher et à plus de 2 500 m sur les cendres volcaniques de Kofelé, sont observés des sols bruns caractérisés par l'absence de calcaire dans les sols et le matériau d'altération, et par une teneur en matière organique élevée dans l'horizon de surface. Dans la classification du CPCS, les sols sont différenciés d'après les types de climat. La sous-classe qui paraît le mieux convenir ici est celle des sols brunifiés de climats tempérés humides, le climat « tichéen » en étant proche. Des sols bruns eutrophes et mésotrophes ont été observés.

#### 3.5.1. LES SOLS BRUNS EUTROPHES (18)

De pH neutre et saturés, ils se forment sur les colluvions de basalte. Ils sont modaux ou humifères.

Les sols modaux ont la morphologie suivante :

- 0-30 cm, A<sub>11</sub> :  
— brun rougeâtre (5 YR 2/2), foncé, sableux très fin, grenu à polyédrique très fragile.
- 30-90 cm, A<sub>12</sub> :  
— brun rougeâtre (5 YR 4/3), argileux lourd, polyédrique grossier, fragile.
- 90-160 cm, B :  
— bariolé rouge et brun foncé, argileux lourd, polyédrique moyen, fragile.
- 100 cm +, CR :  
— basalte en altération.

Les sols bruns humifères sont moins profonds sur les pentes plus fortes. Le profil est de type A<sub>11</sub> (A<sub>12</sub>C)

R, mais les teneurs en matière organique de l'horizon A<sub>11</sub> sont élevées : 12 à 13 %. La structure des horizons inférieurs est fragmentaire, très nette, grenue à polyédrique fine, ce qui leur confère une grande friabilité. Les caractères vertiques n'apparaissent pas par suite du bon drainage. Le pH est neutre, et le complexe absorbant saturé.

#### 3.5.2. LES SOLS BRUNS MÉSOTROPHES HYDROMORPHES (19)

à pH inférieur à 6,5 s'observent sur les cendres volcaniques acides des collines de Kofelé dominant de 300 m environ la zone des vertisols et des chernozems. Le profil suivant a été décrit :

- 0-10 cm, A<sub>11</sub> :  
— brun, sableux grossier, grumeleux à tendance particulière, très fragile.
- 10-40 cm, A<sub>12</sub> :  
— brun clair, sableux grossier, polyédrique émoussé à tendance particulière, très fragile.
- 40-90 cm, A<sub>3</sub> :  
— brun jaune à brun rougeâtre clair, sableux très fin, polyédrique émoussé, fragile.
- 90-165 cm, B<sub>2</sub> Fe-Mn :  
— horizon concrétionné avec concrétion de Fer et de Manganèse.
- 165 cm + C :  
— clay, horizon bariolé gris et jaune rouge d'altération des cendres.

L'accumulation de la matière organique est importante, 19,6 % dans le A<sub>11</sub> et encore 3,9 % dans le A<sub>12</sub>. Le pH de l'ensemble est acide et voisin de 6 : le complexe est fortement désaturé en surface ; (V% = 29,3 à 35,6) moyennement en profondeur (V% = 55,5).

Contrairement à ce que l'on observe pour les vertisols ou les chernozems proches, l'engorgement temporaire ne se traduit plus par une individualisation du calcaire. Le milieu s'est acidifié favorisant les mouvements du fer et du manganèse et l'expression des caractères d'hydromorphie. L'accumulation des concrétions amène en certains endroits la formation de véritables blocs de carapace.

### 3.6. Les sols fersiallitiques

Les sols rouges qui se rencontrent dans le Nord et l'Ouest du Bassin sur des matériaux originels variés (calcaires, grès, basaltes) ont posé des problèmes de classification (Riché *et al.* 1975). Tous ces sols possèdent en commun une couleur vive : rouge au brun

rouge, parfois brun jaune. La terre fine des horizons A et B est décarbonatée quel que soit le matériau originel, mais aucun lessivage vertical d'argile n'est observé ; la structure est fragmentaire fine avec parfois une tendance verticale en profondeur. Les minéraux argileux dominants sont l'illite qui s'accompagne de kaolinite ou d'hallowysite selon les cas. Deux groupes ont été séparés :

- les sols rouges saturés peu épais,
- les sols rouges faiblement désaturés ou saturés épais.

### 3.6.1. LES SOLS FERSIALLITQUES SATURÉS PEU ÉPAIS (20)

Ils se développent sous climat fickien sur les colluvions granito-gréseuses dans la région d'Harar-Babilé, et en place sur roche mère calcaire dans la région de Guebiba.

Le sol est peu épais en situation plane ou de faible pente. Le profil est de couleur vive : brun-rouge (A) à rouge (B). Les horizons A et B sont décarbonatés, mais on peut trouver des traces de calcaire dans l'horizon d'altération C des granito-gneiss.

Sur colluvions de granites dans la région de Babilé, on observe le profil suivant :

- 0-40 cm A<sub>1</sub> :  
— brun (7,5 YR 5/4), sableux grossier, grumeleux, fragile.
- 40-100 cm, B :  
— brun rouge (5 YR 5/4), sableux grossier, argileux, polyédrique émoussé, « stone line » de graviers de quartz ; nombreux micas altérés, fragile.
- 100-180 cm, C :  
— granito-gneiss très altéré, avec poche de terre fine argileuse brun rouge, faiblement calcaire par place.
- 180 cm + R :  
— granito-gneiss peu altéré.

Le sol est saturé, le pH basique (7,7 à 8), la structure fragmentaire fine, les teneurs en matière organique sont de 2,1 % dans l'horizon A<sub>1</sub>. L'illite domine accompagnée de fire-clay dans le A et le B. La montmorillonite apparaît en quantité importante dans le C et diminue vers la surface.

Sur calcaire, des sols semblables sont observés. Sur grès, par contre, la kaolinite domine le matériel originel ne contenant pas de minéraux 2/1, mais les autres caractères (pH, degré de saturation...) sont pratiquement les mêmes. Ces sols présentent certaines similitudes, notamment avec les sols rouges du Nord-Cameroun formés sur roche basique (Martin, Sieffermann-Vallerie 1966), les sols rouges d'Afrique du Sud (Van Der Merwe, 1955) ou les sols rouges d'Angola (Bothelo de Costa *et al.* 1958-1959) qui sont

développés sous climat tropical semi-aride. Cependant, ils se rapprochent beaucoup plus des sols rouges dérivés de calcaires décrits au Liban (Lamouroux, 1972), donc des sols rouges méditerranéens.

### 3.6.2. LES SOLS FERSIALLITQUES FAIBLEMENT DÉSATURÉS OU SATURÉS ÉPAIS (21)

Il s'agit de sols épais formés sur colluvions de calcaires, de granito-gneiss et de grès, sur les pentes des collines de l'Harar, et de basalte (région de Kuni), entre 2 000 et 3 000 m, sous climat éthiopien, ou de sols sur colluvions de basalte au pied des massifs montagneux entre 3 000 et 3 500 m sous climat tichéen. Ces sols sont faiblement désaturés (V entre 80 et 100 %). Le pH est neutre ou faiblement acide.

Sur colluvions de calcaire, grès et granites de l'Harar (pluviométrie 950 mm, climat éthiopien), le profil est le suivant :

- 0-50 cm, A<sub>1</sub> :  
— brun rouge foncé (2,5 YR 3/4), argileux, grumeleux très fragile.
- 50-470 cm, B :  
— rouge foncé (10 R 3/3), argileux, polyédrique moyen, agrégats à faces brillantes.
- 470-800 cm, R :  
— grès rouge en altération.

La teneur en matière organique est de 2,7 % dans l'horizon A. Les faces brillantes observées sur les agrégats ne sont pas dues à des revêtements argileux, mais sont attribuées à la présence d'hallowysite dont les particules s'orientent lors des phases humectation-dessiccation.

Sur colluvions de basaltes de la région de Kuni (pluviométrie 1 200 mm, climat éthiopien), le profil suivant est observé :

- 0-30 cm, A<sub>11</sub> :  
— brun rouge foncé (5 YR 3/3), argileux, granulaire, très fragile.
- 30-90 cm, A<sub>12</sub> :  
— brun rouge foncé (5 YR 3/3), argileux, polyédrique fin, très fragile.
- 90-600 cm, B :  
— brun rouge foncé (2,5 YR 2/4), argileux, polyédrique moyen, très fragile.
- 600 cm +, CR :  
— basalte avec boules d'altération.

La couleur foncée est due à la présence de magnétite en abondance dans le sol. Les teneurs en matière organique sont de 4,1 % dans le A<sub>11</sub> et de 1,9 % dans le A<sub>12</sub>.

Sur colluvions de basalte de la région de Ticho (pluviométrie 1 400 mm. climat tichéen), le profil est le suivant :

0-15 cm, A<sub>11</sub> :

— brun rouge foncé (5 YR 3/3), humifère sableux fin, grumeleux moyen, très fragile.

15-60 cm, A<sub>12</sub> :

— brun rouge foncé (5 YR 3/4), humifère sableux très fin limoneux, polyédrique émoussé fin, très fragile.

60-300 cm, B C :

— rouge foncé (2,5 YR 3/6), argileux limoneux, polyédrique fin et moyen fragile, nombreux fragments de basalte altérés en boule dont certains très friables.

Ce dernier sol est un sol fersiallitique humifère. Les taux de matière organique sont élevés : 8,7 % et 6,4 % respectivement dans les horizons A<sub>11</sub> et A<sub>12</sub>.

Tous ces sols caractérisés par leur grande épaisseur et la friabilité de leurs horizons avaient été classés initialement en sols ferrallitiques faiblement désaturés ou saturés. Cependant, ces sols présentent du point de vue minéralogique à côté de la métahalloysite et de la kaolinite des pourcentages élevés d'illite, estimés entre 14 et 25 %, selon les sols. La possibilité d'une synthèse de l'illite dans les sols dérivés de basaltes a été envisagée (Riché *et al.* 1975). De plus, on ne retrouve pas ici les caractéristiques habituelles des sols ferrallitiques de l'Afrique de l'Ouest ou de l'Afrique Centrale (Aubert et Ségalen, 1966). Ici, les teneurs en limons sont élevées, la matière organique est du type « mull forestier » et la capacité d'échange des argiles est élevée, supérieure à 35 mé/100 g d'argile. Ces sols rouges d'altitude où l'évolution pédogénétique est plus poussée que dans les sols précédents (lixiviation en bases, synthèse d'argile plus importante), sont bien des sols fersiallitiques.

### 3.7. Les sols hydromorphes (non cartographiés)

Ils ont une extension très faible, les milieux basiques ou neutres étant défavorables aux mouvements du fer et du manganèse. Ainsi, les sols hydromorphes sont caractérisés soit par l'apparition d'un horizon humifère épais dans les zones inondables, soit par l'apparition de nodules et de taches calcaires dans la variation du niveau de la nappe phréatique.

Des sols hydromorphes moyennement organiques — humifères à gley et calcaires, s'observent sur les alluvions inondables du Wabi Shebelle et du Farfan dans le Sud du Bassin — humifères à gley calcique occupent une frange étroite autour des lacs de l'Harar.

Des sols hydromorphes minéraux à pseudo-gley — à calcaire diffus se rencontrent au fond des canyons du Whabi Shebelle (cours supérieur) et de ses affluents — à amas et nodules ont été décrits dans de petites dépressions formées sur les zones d'épandage des grès de la région de Shilavo.

### 3.8. Les sols sodiques des confins désertiques (22)

Ils se rencontrent uniquement dans la région de Ferfer aux confins somaliens, sur des altérations rouges provenant de la convergence de plusieurs oueds ayant formé un vaste cône de déjection remanié en surface par le vent. Le climat est ogadénien, avec 100-150 mm de pluies par an.

Ce sont des sols salins à efflorescences salines. L'alcalisation reste très faible en raison de l'abondance du calcaire et du gypse dans le profil. Ainsi, malgré une teneur moyenne de l'extrait saturé au 1/2 du sol qui dépasse 2,9 g de CINA/100 g de sol, la saturation du complexe absorbant par le sodium n'atteint pas 5 % avec un pH voisin de 8.

## 4. AMÉLIORATION DES POSSIBILITÉS AGRICOLE, PASTORALES ET FORESTIÈRES DANS LE BASSIN DU WABI SHEBELLE CRÉATION DE RÉSERVES DE FAUNE

### 4.1. Les conditions de la transformation du potentiel agro-sylvo-pastoral

Les activités agricoles et pastorales sont étroitement déterminées par les conditions climatiques qui dépendent principalement de l'altitude. Elles sont essentiellement de type traditionnel et se répartissent ainsi :

— *l'agriculture* est concentrée entre 2 500 m et 3 200 m pour les cultures tempérées (climats tichéen et guédébién) et entre 1 600 m et 2 500 m pour les cultures tropicales (climat éthiopien). C'est la zone des Hauts Plateaux ou « Woina Dega ».

Au dessus de 3 200-3 400 m, le froid constitue le facteur limitant (climat Boraluku). C'est la « Dega ».

En dessous de 1 600 m, l'aridité du climat (climat fickien) réduit ou empêche sauf exception toute spéculation agricole (climat ogadénien). C'est la « Chola ».

— l'élevage est extensif à cause de la mauvaise qualité des pâturages et centré sur le zébu auquel vient s'ajouter le mouton sur les Hauts-Plateaux et la chèvre naine dans les zones plus sèches du Sud. Sur les Hauts-Plateaux, le bétail est fixé et se maintient en bon état la plus grande partie de l'année. Par contre, dans le Middle-Belt et l'Ogaden, les troupeaux nomadisent et leur état est précaire à la fin des saisons sèches.

Quant à la forêt, elle a presque disparu de son domaine climacique (Hauts Plateaux) et ne subsiste que sur les pentes fortes des montagnes.

L'amélioration des possibilités agricoles et pastorales passe par une intensification de l'agriculture et de l'élevage sur les Hauts-Plateaux, la colonisation de certaines zones de la Middle-Belt pour l'extension de la culture en sec, la création d'une agriculture sous irrigation ou inondation dans l'Ogaden.

Les conditions de ces transformations sont essentiellement liées à l'élévation du niveau de fertilité des sols, à l'application de techniques de conservation des sols au niveau régional et de la parcelle de culture, à l'utilisation de méthodes de cultures et d'élevage modernes mettant en œuvre notamment la mécanisation et l'introduction de variétés plus productives.

#### 4.1.1. L'AMÉLIORATION DE LA FERTILITÉ DES SOLS (V. TABL. 2)

La fertilité des sols peut être considérée comme moyenne à élevée.

Les teneurs en matière organique sont liées aux conditions climatiques : supérieures à 3 % sur les Hauts-Plateaux, de 1,5 à 3 % dans le Middle-Belt. En Ogaden, elles sont faibles de l'ordre de 1 %.

Le pH est neutre ou basique, sauf dans les sols bruns mésotrophes où il est faiblement acide.

Les taux d'azote décroissent régulièrement des Hauts-Plateaux à l'Ogaden, élevés dans le premier cas et bas dans le second.

Les teneurs en phosphore total sont moyennes à élevées ainsi que celles en potassium.

L'amélioration du niveau de fertilité des sols sera peu onéreux puisque dans la majorité des cas un seul facteur chimique est limitant. Par ailleurs, le bon pouvoir de fixation des sols (argiles à forte capacité d'échange) empêchera les déperditions rapides de certains fertilisants.

— Le rapport  $\frac{N \text{ total}}{P_2O_5 \text{ total}}$  montre que pour le plus grand nombre de sols, le facteur chimique limitant est l'azote.

— le déséquilibre au détriment du phosphore ne se manifeste que dans les sols calcimagnésiques (7), les chernozems (10), les sols bruns eutrophes (17) et certains sols fersiallitiques (partie de 20).

Le niveau général de fertilité est bas ou moyen (avec des teneurs en matière organique moyennes à élevées dans certains sols à différenciation calcaire (12), fersiallitiques (partie de 20) et nécessite une fertilisation NPK complète.

Le rapport Ca/Mg est bien équilibré, sauf pour les vertisols à recouvrement cendreuse (non délimité sur la carte des sols jointe) et pour les sols bruns mésotrophes (20) où le chaulage est recommandé.

Des teneurs en bore assimilable élevées (75 ppm) ont été observées dans des sols alluviaux provenant de gypse dans l'Ogaden, ce qui limite leur possibilité d'utilisation.

Dans les zones irrigables de la Basse Vallée du Wabi Shebelle, il sera nécessaire de remonter les teneurs en matière organique vers 2 % (au lieu de 1 % actuellement) pour obtenir des rendements compatibles avec la fertilisation chimique.

#### 4.1.2. CONSERVATION DES SOLS ET REFORESTATION

Dans le Bassin du Wabi-Shebelle, l'érosion prend des aspects divers. Elle est toujours intense et menace sérieusement l'avenir agro-pastoral de la région.

— Sur les Hauts Plateaux, c'est l'érosion due au ruissellement qui sévit. Ses causes sont *géographiques* : fortes variations d'altitude entre l'amont et l'aval du Bassin ; *pédologiques* : les vertisols très argileux ainsi que les sols fersiallitiques étant favorables au déclenchement de l'érosion ; *anthropiques* : la déforestation ayant été quasi complète sur les pentes de la plupart des massifs montagneux. Les griffes d'érosion, les ravines de toutes tailles sont d'observation courante, pouvant aller — comme dans la région d'Harar — jusqu'à la formation de lavakas.

Il a été préconisé, d'une part, le reboisement des pentes fortes à altitude élevée : flancs de montagnes, canyons des rivières (lutte régionale contre le ruissellement) et, d'autre part, l'utilisation de techniques de conservation des sols au niveau des parcelles (labour et billonnages isohypses, terrasses, ceci en fonction de la pente) avec stabilisation des ravines et des lavakas.

TABLEAU 2

Fertilité des principaux types de sols du bassin du Wabi Shebelle\*

| Type de sol   | Numéro (1) | MO (2) | N (3) | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total (4) | K (5) | $\frac{N \text{ total}}{P_2O_5 \text{ total}}$ (6) | Facteur limitant la fertilité  |
|---|------------|--------|-------|---|-------|--|--------------------------------|
| Sols peu évolués                                    | 1          | B      | B     | M                                       | E     |  |                                |
|   | 2          | B      | B     | M                                       | M-E   |  |                                |
| Vertisols   | 3          | M      | E     | M-E                                     | E     | < 1  | Azote                          |
|   | 4          | E      | E     | M                                       | E     | < 1  | Azote                          |
|   | 5          | E      | E     | E-M                                     | E     | 3  | Azote                          |
| Andosols  | 6          | E      | E     |   | E     |  |                                |
| Sols calcimagnésiques                               | 7          | E      | E     | E-M                                     | E     | < 1  | Azote - potasse                |
| Sols à différenciation calcaire à horizon mélanique | 8          | M      | B     | E                                       | M-E   |  |                                |
|   | 9          | B      | M     | M                                       | E     | 1,5  | Azote - phosphore              |
|   | 10         | E      | E     | M                                       | E     | 3  | Phosphore - azote              |
|   | 11         | M-E    | M     | E-B                                     | M     |  |                                |
| Sols à différenciation calcaire à horizon pallide   | 12         | B      | B     | B                                       | B     |  | Phosphore - azote<br>Potassium |
|   | 13         | B      | B     | M                                       | B     |  |                                |
|   | 14         | B      | B     | M                                       | M-E   | 2  | Azote                          |
|   | 15         | B      | B     | M                                       |       |  |                                |
| Sols à différenciation gypseuse à horizon pallide   | 16         | B      | B     | E                                       | E     | < 1  | Azote                          |
|   | 17         | B      | B-M   | E                                       | E     |  |                                |
|   | 18         | E      | E     | M-E                                     | E     | > 5  | Phosphore                      |
|   | 19         | E      | E     | E                                       | E     | < 2  | Azote                          |
| Sols fersiallitiques                                | 20         | E      | E     | M                                       | E     | > 5  | Phosphore                      |
|   | 21         | B-E    | B-E   | B-M-E                                   | E     |  | Azote - phosphore              |

B: bas; M: moyen; E: élevé.

\* Les facteurs limitant la fertilité sont indiqués pour les sols utilisés ou susceptibles d'utilisation agro-pastorale.

(1) Numéro des sols de la carte pédologique à l'échelle de 1/4 000 000

(2) Matière Organique % de sol

< 1,5 % Bas  
1,5 - 3 % Moyen  
> 3 % Elevé

(3) Azote ‰ de sol

< 1 ‰ Bas  
1 - 2 ‰ Moyen  
> 2 ‰ Elevé

(4) Phosphore total ‰ de sol

pH ≤ 7      pH > 7  
< 0,25 ‰      0,50 ‰ Bas  
0,25 - 0,75 ‰      < 0,5 - 1,5 ‰ Moyen  
0,75 ‰      1,5 ‰ Elevé

(5) Potassium mé/100 g de sol

0,2 Bas  
0,2 - 0,4 Moyen  
0,4 Elevé

(6) Rapport

 $\frac{N \text{ total}}{P_2O_5 \text{ total}}$       pH ≤ 7      pH > 7  
> 5      > 2,5      fortement carencé en phosphore  
< 2      < 1      fortement carencé en azote

Valeurs intermédiaires: la fertilité dépend du niveau de chacun des éléments.

Dans le Sud du Bassin, l'érosion éolienne est importante. Dans les zones retenues pour la mise en valeur, l'installation de brise-vents peut la freiner considérablement.

#### 4.1.3. AMÉLIORATION DES TECHNIQUES DE CULTURES : MÉCANISATION

La culture attelée est généralisée dans les zones d'agriculture traditionnelle, mais l'utilisation de l'araire ne permet pas un travail suffisant du sol ni la destruction totale des mauvaises herbes. L'utilisation d'un matériel plus moderne (charrues à disques, charrues classiques, brise-mottes) doit permettre de travailler rapidement le sol dans des conditions optimales d'humidité (ce qui est important pour les vertisols) et de faciliter la mise en œuvre de techniques antiérosives. De grandes zones où la mécanisation est possible (topographie mollement ondulée, pentes inférieures à 8 % ou plane, absence d'éléments grossiers dans les sols) ont été délimitées dans tout le Bassin (culture en sec ou irriguée) et représentent une surface totale de 2 000 000 ha environ.

#### 4.1.4. AMÉLIORATION DU BILAN HYDRIQUE DES SOLS

C'est une des conditions essentielles de l'augmentation de la productivité dans les zones déjà cultivées des Hauts-Plateaux ou de la création d'une agriculture dans les zones plus sèches de la Middle-Belt. L'effort devra porter :

- sur l'augmentation de l'eau infiltrée corrélative de la mise en œuvre de techniques de conservation du sol en système ouvert sur les Hauts-Plateaux et sans écoulement pour le Middle-Belt ;

- sur la diminution de l'évaporation par l'installation de brise-vents pour les zones des vertisols et des chernozems des Hauts-Plateaux. Dans la Middle-Belt pour la culture en sec et dans la Basse Vallée du Wabi Shebelle sous irrigation, l'utilisation de brise-vent est impérative pour diminuer l'évaporation mais aussi l'effet mécanique du vent sur la végétation.

#### 4.1.5. AMÉLIORATION DES CONDITIONS AGRO-PASTORALES EN OGADEN

Dans la Basse Vallée du Wabi Shebelle, les zones favorables à l'irrigation dépassent 200 000 ha. Une partie seulement, soit 75 000 ha, est prévue pour l'irrigation en fonction des possibilités du fleuve.

Dans la Basse Vallée du Fafan, le contrôle des inondations peut permettre une amélioration sensible des conditions de pâturages sur une surface de 95 000 ha. Des possibilités de culture existent dans les zones les plus inondables sur une superficie d'au moins 4 000 ha.

Des aménagements hydroagricoles visant à la meilleure répartition des crues des oueds dans les petites dépressions ou certains cônes de déjections de l'Ogaden permettront une amélioration nette de la production des cultures vivrières et notamment du sorgho. L'extension totale des zones favorables à de tels aménagements est de 360 000 ha.

#### 4.1.6. LES POSSIBILITÉS D'EXTENSION DES CULTURES EN SEC DANS LE MIDDLE-BELT

De grandes possibilités d'extension des cultures telles que maïs et sorgho avec mécanisation et création de bons pâturages existent dans la Middle-Belt. Bien que le climat de type fickien soit assez sec, 400-800 mm de pluie, celle-ci se répartit assez bien dans l'année et est favorable à des cultures peu exigeantes sur les sols à bon pouvoir de rétention en eau, comme les vertisols (4) et les sols fersiallitiques (partie de 20). Les possibilités d'extension tournent autour de 1 370 000 ha.

#### 4.1.7. L'UTILISATION DE VARIÉTÉS PLUS PRODUCTIVES

##### *Agriculture*

L'élévation du niveau de fertilité et du bilan hydrique impose l'introduction de variétés plus productives pour le blé, l'orge, le maïs, le lin sur les Hauts-Plateaux, le sorgho dans les zones les plus sèches ; l'amélioration des plantes traditionnelles comme le tef. Pour les zones irrigables de la Basse Vallée du Wabi Shebelle, une ferme expérimentale a été installée suivant nos indications et le comportement de diverses variétés de plantes vivrières oléagineuses et textiles y est suivi.

##### *Elevage*

Dans les zones inondables de la Basse Vallée du Fafan ou dans certaines régions des Hauts Plateaux où l'agriculture est difficile et marginale, l'amélioration des pâturages passe par l'introduction de légumineuses et de graminées plus productives d'origine tempérée ou tropicale selon les cas.

Dans les zones mixtes agriculture — élevage, la transformation des jachères en pâturages artificiels est une des conditions essentielles de l'intensification

de la productivité de l'agriculture éthiopienne des Hauts-Plateaux. Cette « révolution fourragère » pourrait se faire par l'introduction systématique de plantes de pâturages des zones tempérées et méditerranéennes.

#### 4.1.8. LA CRÉATION DE RÉSERVES DE FAUNE

La faune est particulièrement abondante et variée, principalement dans la Middle-Belt et l'Ogaden. Cependant, avec la colonisation de ces régions, un déséquilibre écologique risque d'apparaître et des mesures de protection sont nécessaires à court et moyen termes. Il a été proposé :

— la création de deux Parcs Nationaux dans des zones proches des villes disposant d'un équipement hôtelier avec des facilités d'accès :

— *le Parc National de l'Harar* de 300 000 ha, surtout pour la protection de l'Eléphant,

— *le Parc National de l'Arussi* sur les Hauts Massifs montagneux à plus de 3 200 m, de 88 000 ha, pour la protection du Nyala et du Lion d'Ethiopie.

— la création de trois Réserves Intégrales éloignées des centres importants mais présentant un grand intérêt quant à la diversité et l'abondance de la faune. Ce sont les suivantes :

— *la Réserve Intégrale du Wabi Shebelle* avec une grande variété de biotopes, de 3 200 000 ha,

— *la Réserve Intégrale du Bas-Fafen* sur les formations gréseuses possédant une faune spécifique, de 800 000 ha,

— *la Réserve Intégrale de Kebri-Beya* : véritable « savane parc » avec faune variée et riche, de 160 000 ha.

#### 4.2. Délimitation des zones susceptibles d'un aménagement agro-sylvo-pastoral et pour la création de réserves de faune

La délimitation de ces zones a fait l'objet d'une carte au 1/250 000 comprenant 16 feuilles (Riché, Ségalen, 1974) et qui comporte, en plus d'une légende pédologique, une légende d'utilisation des sols. Trop complexe pour une présentation générale des possibilités agro-sylvo-pastorales du Bassin, une carte synthétique et simplifiée d'utilisation des sols a été dessinée (fig. 7). Y ont été délimitées, en fonction des critères établis plus haut, les zones suivantes avec

leur extension en ha (numéros correspondant à ceux de la carte) :

|   |              |
|---|--------------|
| 1. zone mixte de forêt jardinée et d'élevage intensif   | 486 000 ha   |
| 2. zone d'élevage intensif  | 362 000 ha   |
| 3. zone mixte d'agriculture (cultures tempérées) et d'élevage intensifs avec mécanisation   | 400 000 ha   |
| 4. zone mixte d'agriculture (cultures tropicales) et d'élevage intensifs avec possibilités de mécanisation quand la pente est inférieure à 8 %                | 360 000 ha   |
| 5. zone d'extension possible des cultures en sec avec mécanisation  | 1 370 000 ha |
| 6. zones irrigables : cultures tropicales (Basse Vallée du Wabi Shebelle)   | 75 000 ha    |
| 7. zones inondables avec possibilités d'amélioration des pâturages (Fafen)  | 95 000 ha    |
| 8. zones inondables avec amélioration des possibilités de cultures (Ogaden) (seules les zones les plus étendues sont représentées sur la carte à 1/4 000 000) | 360 000 ha   |
| 9. parcs nationaux  | 388 000 ha   |
| 10. réserves intégrales de faune  | 4 160 000 ha |

Le reste est occupé par des pâturages extensifs.

Les possibilités d'amélioration du patrimoine agro-sylvo-pastoral du Bassin du Wabi Shebelle apparaissent donc importantes.

Bien sûr, elles sont principalement concentrées sur les Hautes Terres de l'Ouest et du Nord-Ouest où les possibilités d'un « bon en avant » de l'agriculture et de l'élevage sont excellentes. Mais la Middle-Belt présente de très bonnes perspectives dans les régions de Jijiga, Fick et Guebiba où l'extension de la culture mécanisée peut se faire sur de très grandes surfaces (plus de 900 000 ha dans ces trois zones).

L'Ogaden présente trois pôles possibles de développement pastoral, mais d'intérêt inégal :

— les dépressions fermées ou cônes de déjection inondables où la culture du sorgho peut être développée par le contrôle des inondations ;

— la Basse Vallée du Fafen avec de bonnes possibilités d'amélioration des pâturages dans les zones inondables ;

— la Basse Vallée du Wabi qui — grâce à l'irrigation et à la qualité des sols — constitue le facteur le plus sûr du développement agricole de cette région aride.

L'Ogaden présente également des réserves en eau souterraines peu chargées en sels que nous avons localisées et cartographiées dans les zones de Kebri Dehar et sur les épandages gréseux de Shilavo, mais qui apparaissent seulement sur des documents plus détaillés (cartes à 1/60 000 de la Vallée du Fafen et à 1/2 500 000 du Bassin).



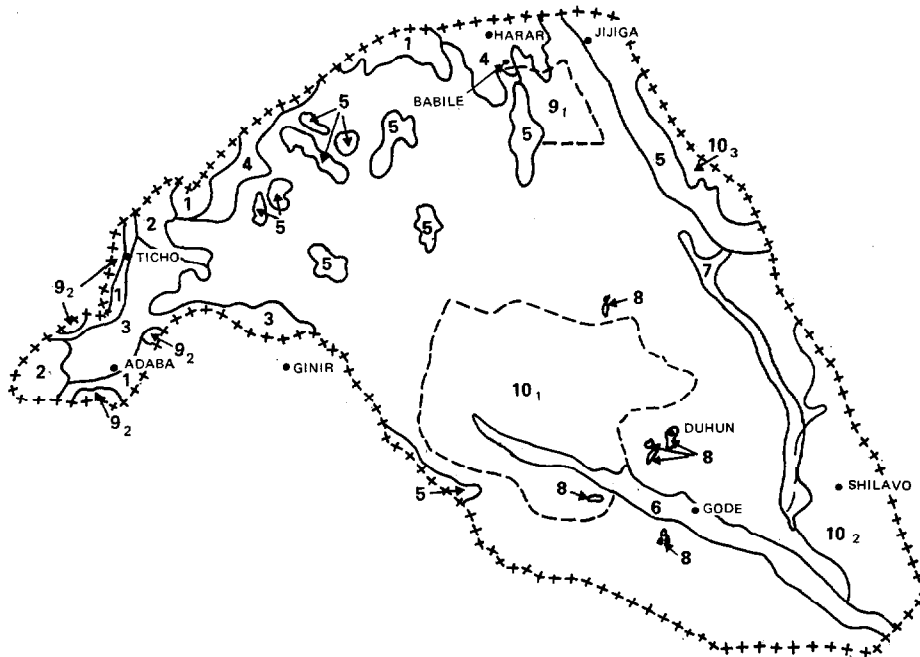


FIG. 7. — Carte simplifiée de délimitation des zones susceptibles d'un aménagement agro-sylvo-pastoral et pour la création de réserve de faune - Bassin du Wabi-Shebelle.

|  |              |   |              |
|--|--------------|---|--------------|
| 1. zone mixte pour forêt jardinée et pour élevage intensif .....   | 486 000 ha   | 7. zones inondables avec possibilités d'amélioration des pâturages .....  | 95 000 ha    |
| 2. zone pour élevage intensif .....  | 362 000 ha   | 8. zones inondables avec possibilités d'amélioration des cultures (seules les plus grandes sont figurées) ..... | 360 000 ha   |
| 3. zone mixte pour agriculture (cultures tempérées) et élevage intensif avec mécanisation ..                                   | 400 000 ha   | 9. parcs nationaux proposés .....   |              |
| 4. zone mixte pour agriculture (cultures tropicales) et élevage intensifs avec mécanisation quand pente inférieure à 8 % ..... | 360 000 ha   | 9.1. Parc National de l'Harar .....   | 300 000 ha   |
| 5. zone d'extension possible des cultures en sec avec mécanisation .....   | 1 370 000 ha | 9.1. Parc National de l'Arussi .....  | 88 000 ha    |
| 6. zones irriguables (cultures tropicales) .... (prévu)  | 75 000 ha    | 10. réserves intégrales de faune proposées .....  |              |
|  |              | 10.1. Réserve intégrale du Wabi Shebelle ..   | 3 200 000 ha |
|  |              | 10.2. Réserve intégrale du Bas Fafen .....  | 800 000 ha   |
|  |              | 10.3. Réserve intégrale de Kebri-Beya .....   | 160 000 ha   |

La forêt est amenée à jouer un rôle important dans l'aménagement du Bassin car, en plus de son rôle essentiel dans le ralentissement de l'érosion, elle apparaît intéressante sur le plan économique. Sur les Hauts-Plateaux, elle peut faire l'objet d'une exploitation industrielle (forêt jardinée) ; dans les zones plus sèches, elle peut contribuer à améliorer notablement les conditions de vie locales : bois de construction, de chauffage, protection contre le vent, etc. Ces diverses possibilités, envisagées en détail sur les zones les plus favorables pour une telle action, ont été délimitées sur la carte à 1/250 000.

## 5. CONCLUSIONS

Le Bassin du Wabi Shebelle représente une entité spécifique en Afrique sur une latitude équatoriale. Son originalité réside principalement dans les variations d'altitude importantes (de 300 à 4 000 m), et dans la prédominance de roches riches en calcium (basaltes, calcaires, gypse). L'altitude joue un rôle prépondérant sur la diversification des types climatiques, au nombre de six, du tropical sec au tempéré froid, ce qui se traduit par des étages de végétation bien caractérisés allant du bush à *Acacia*, dans les

zones basses et sèches, aux Ericacées dans les zones humides et froides des montagnes. Dans de telles conditions, et bien que la nature matériau originel soit relativement homogène, les processus de la pédogenèse sont variés. Aussi toutes les classes de sols sont-elles représentées, à l'exception des sols ferrallitiques ss. et des podzols.

La répartition des sols, en surface et pourcentage, est donnée dans le tableau 3. Celui-ci montre que les sols peu évolués, les sols à différenciations calcaire et gypseuse ainsi que les vertisols sont particulièrement bien représentés. Par contre, les sols sodiques et les sols hydromorphes occupent une place extrêmement réduite.

TABLEAU 3

*Extension et pourcentage des types de sols dans le Bassin du Wabi Shebelle*

| Types de sols                        | Extension (km <sup>2</sup> ) | %    |
|--------------------------------------|------------------------------|------|
| Sols peu évolués .....               | 37 980                       | 21,1 |
| Vertisols .....                      | 18 900                       | 10,5 |
| Andosols .....                       | 900                          | 0,5  |
| Sols calcimagnésiques .....          | 14 940                       | 8,3  |
| Sols à différenciation calcaire :    |                              |      |
| • à horizon mélanique .....          | 17 280                       | 9,6  |
| • à horizon pallide .....            | 44 100                       | 24,5 |
| Sols à différenciation gypseuse .... | 29 880                       | 16,6 |
| Sols bruns :                         |                              |      |
| • eutrophes .....                    | 2 700                        | 1,5  |
| • mésotrophes .....                  | 1 260                        | 0,7  |
| Sols fersiallitiques :               |                              |      |
| • saturés .....                      | 3 960                        | 2,2  |
| • faibles désaturés .....            | 5 580                        | 3,1  |
| Sols sodiques .....                  | 180                          | 0,1  |
| Sols hydromorphes .....              | 2 340                        | 1,3  |

La fertilité chimique de ces sols est généralement bonne, parfois à un niveau moyen ou bas. Le facteur chimique limitant est le plus souvent l'azote, bien que le phosphore le soit également dans quelques types de sols de grand intérêt agro-pastoral.

L'utilisation des sols dépend en fait étroitement des conditions climatiques, des possibilités d'amélioration du bilan hydrique du sol par la diminution de l'évaporation, les inondations ou l'irrigation. Il apparaît ainsi que le patrimoine agro-sylvo-pastoral du Bassin peut être considérablement amélioré par :

— l'intensification de l'agriculture et de l'élevage sur les Hauts-Plateaux et l'implantation de forêts jardinées dans ces mêmes régions ;

— l'extension des cultures en sec mécanisées dans la Middle-Belt ;

— l'irrigation et les inondations en Ogaden.

Le tableau 4 résume les possibilités agro-sylvo-pastorales en fonction des régions naturelles du Bassin.

TABLEAU 4

*Tableau récapitulatif des possibilités agro-sylvo-pastorales du Bassin du Wabi Shebelle*

| Région         | Possibilités agro-sylvo-pastorales                               | Extension (ha)                   |
|----------------|--|----------------------------------|
| Hauts-Plateaux | forêt jardinée - élevage intensif - agriculture mécanisée ou non | 1 608 000                        |
| Middle-Belt    | extension des cultures en sec                                    | 1 370 000                        |
| Ogaden         | zones irrigables Wabi-Shebelle                                   | 200 000<br>dont prévus<br>75 000 |
|                | zones inondables Fafen (pâturages)                               | 95 000                           |
|                | zones inondables Ogaden : dépressions                            |                                  |
|                | cônes de déjection : agriculture                                 | 360 000                          |

Des Parcs Nationaux et des Réserves Intégrales ont été également prévus, visant à protéger la riche faune et le milieu écologique en général dans cette région de l'Est Africain.

*Manuscrit reçu au SCD de l'ORSTOM le 25 octobre 1975*

## BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT (G.), SEGALIN (P.), 1966. — Projet de classification des sols ferrallitiques. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. IV, 4 : 97-112.
- BAUDUIN (D.), DUBREUIL (P.), 1973. — L'inventaire des ressources en eau pour l'aménagement intégré du Bassin du Wabi Shebelle d'Ethiopie. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.*, vol. X, 4 : 307-347.
- BAUDUIN (D.), RICHE (G.) *et al.*, 1974. — Geological survey of the Wabi Shebelle Basin. A map at 1/1 000 000 et 1/250 000 with explicative note. Ethiopia - France cooperative program Wabi Shebelle survey, in collaboration with French ministry of Foreign affairs. National Water Resources Commission.
- BOTELHO da COSTA (J.V.) *et al.*, 1958. — Carta geral dos solos de Angola Distrito da Huila. *Mem. da Junta. Invest. Ultram.* 9. Lisboa 482 p.
- BOTELHO da COSTA (J.V.), 1959. — Ferrallitic, Tropical fersiallitic and tropical semi-arid soils. Conf. Interafr. sols 3, Dalaba, 1 : 317-319.
- C.P.C.S., 1967. — Classification des sols, *multigr.* 96 p.
- DANIELLI (G.), 1948. — Carte geologica dell'Africa orientale 1/2 000 000. Roma.
- FIELDER (M.), PERROTT (K.W.), 1966. — A rapid field and laboratory test for allophane. *New Zeal. J. Sci.*, 9, 3 : 623-629
- GUILLAUMET (J.L.), 1971. — La végétation dans le bassin du Wabi Shebelle, Ethiopie. Ethiopie France cooperative program for the study of Wabi Shebelle basin. Carte à 1/1 000 000.
- LAMOUREUX (M.), 1972. — Etude des sols formés sur roches carbonatées. Pédogenèse fersiallitique au Liban. *Mém. ORSTOM*, 56, 266 p.
- MARTIN (D.), SIEFFERMANN (G.), VALLERIE (M.), 1966. — Les sols rouges du Nord Cameroun. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.* vol. IV, 3 : 3-26.
- MARTONNE (A. de), 1942. — Nouvelle carte mondiale de l'indice d'aridité. *Ann. de Géogr.* : 242-250.
- PEGUY (Ch.P.), 1961. — Précis de climatologie. Masson, Paris, 347 p.
- RICHE (G.), SEGALIN (P.), 1971. — Evolution du relief et pédogenèse dans la Basse Vallée du Wabi Shebelle (Ethiopie). *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. IX, 2 : 189-201.
- RICHE (G.), SEGALIN (P.), 1973. — Les sols et le modelé dans le nord-est du Bassin du Wabi Shebelle (Ethiopie). *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XI, 3/4 : 237-247.
- RICHE (G.), SEGALIN (P.), 1974. — Les sols du Bassin du Wabi Shebelle, mise en valeur et utilisation, 180 p. Ethiopia - France cooperative program. Etude du Bassin du Wabi Shebelle, en collaboration avec le Ministère des Affaires Etrangères, National Water Resources Commission, BCEOM, ORSTOM, EDF, IGN, BDPA, accompagné d'une carte pédologique au 1/1 000 000 (1 feuille) et d'une carte d'utilisation des sols à 1/250 000 (16 feuilles). Traduit en anglais.
- RICHE (G.), SEGALIN (P.), 1974. — Les sols de la Basse Vallée du Wabi Shebelle. Mise en valeur et utilisation sous irrigation. 115 p. Ethiopia - France cooperative program. Etude du Bassin du Wabi Shebelle, en collaboration avec le Ministère des Affaires Etrangères, National Water Resources Commission, BCEOM, ORSTOM, EDF, IGN, BDPA, accompagné d'une carte mixte pédologique et d'aptitude des sols à l'irrigation à 1/50 000 (11 feuilles).
- RICHE (G.), SEGALIN (P.), 1974. — Notice de la carte des sols de la Basse Vallée du Fafen. Délimitation des zones inondables. 35 p., Ethiopie - France cooperative program, en collaboration avec le Ministère des Affaires Etrangères, National Water Resources Commission, BCEOM, ORSTOM, EDF, IGN, BDPA, accompagné d'une carte mixte pédologique et des zones inondables à 1/60 000 (7 feuilles). Traduit en anglais.
- RICHE (G.), SEGALIN (P.), LAMOUREUX (M.), QUANTIN (P.), 1974. — Les sols rouges de la partie nord du Bassin du Wabi Shebelle (Ethiopie). *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XII, 3-4 : 267-275.
- RUPELLAN (A.), 1971. — Les sols à profil calcaire différencié des plaines de la Basse Moulouya (Maroc Oriental). *Mém. ORSTOM*, 54, 302 p.
- THORNTHWAITE (C.W.), MATTER (J.R.), 1957. — Instructions and tables for computing Potential Evapotranspiration and the water balance. Centerton. N.J.