



à l'ouest de Fort-Dauphin, la pluviométrie atteint 1.500 mm et la moyenne des températures varie entre 19° 8 et 25° 7 (climat de la Côte Est).

### LES MATERIAUX ORIGINELS

L'histoire géologique de la région peut se résumer ainsi : le socle ancien, constitué essentiellement de schistes cristallins précambriens, a été recouvert par la transgression éocène. Cette série calcaire a été dégagée en cuesta par l'érosion et les formes résiduelles du massif ancien ont été exhumées. Leur érosion a donné naissance à un glacis d'accumulation de sédiments continentaux (pédiment néogène). Ce glacis a été à son tour disséqué en partie et recouvert dans sa partie méridionale par des systèmes dunaires importants, aujourd'hui plus ou moins grésifiés.

Le calcaire éocène disparaît à l'est du cap Sainte-Marie, mais non les sédiments néogènes et les grès calcaires d'origine dunaire.

Le terme " matériau originel " inclut ici la possibilité de remaniements antérieurs au développement du profil actuel. On peut distinguer comme principaux matériaux ayant donné naissance à des sables roux :

#### a) Nappes d'épandage sableuses

Elles se situent en bordure du socle ancien et correspondent à des pédiments dont la pente n'excède pas quelques pour mille. L'agent essentiel dans leur formation est le ruissellement en nappes diffuses ou ravinantes. En saison des pluies il s'y forme de nombreuses mares temporaires et seules quelques rivières surcreusent la surface rubéfiée de quelques mètres.

#### b) Sédiments néogènes

Il s'agit de sédiments continentaux quartziques, plus ou moins argileux, dont le glacis originel ne subsiste plus que partiellement.

Là où ce glacis a été détruit, il s'est formé des nappes d'épandage analogues aux précédentes. Quand il est conservé, sa surface grésifiée ou cuirassée est recouverte également par des nappes sableuses.

#### c) Nappes sableuses sur calcaire crétacé ou éocène

Elles sont probablement les plus anciennes et dues à l'érosion de terrains sédimentaires gréseux (crétacé, jurassique, Isalo). Les calcaires eux-mêmes semblent avoir pu participé à la formation de ces nappes sableuses, et donnent naissance à des sols de décalcification argileux subsquelettiques.

#### d) Matériaux calcaires sableux d'origine dunaire

Il s'agit de matériaux dunaires anciens (Quaternaire et peut-être Tertiaire supérieur) plus ou moins grésifiés. Ils constituent en particulier les falaises du cap Sainte-Marie (pointe extrême-sud de l'île), et ont atteint une extension et une épaisseur parfois considérables.

### e) Alluvions fluviales anciennes

Ces dépôts sableux anciens sont assez localisés, le long des grandes rivières, et constituent le plus souvent des terrasses polygéniques. Ils reposent fréquemment sur des conglomérats fluviaux, ferrugineux ou calcaires.

## CARACTÉRISTIQUES DES DIFFÉRENTS SABLES ROUX

### I. — Sables roux des nappes d'épandage

Bien qu'ayant des caractéristiques très voisines, les sables roux de la bordure du socle ancien (pédiments actuels) sont en général plus profonds et plus homogènes que les sables roux sur glaciaires néogènes ou calcaires crétacés et éocènes (pédiments anciens peu fonctionnels).

#### a) Morphologie

La végétation xérophytique naturelle (bush) est souvent dégradée en pseudo-steppe arbustive, et couvre peu le sol. Le ruissellement en nappe est généralisé, mais peu violent par suite des pentes très faibles ; il se manifeste par la présence, en surface du sol, de sable grossier quartzique, subanguleux, rouge clair à rosé.

Le profil est en général peu différencié avec un horizon humifère peu marqué. La matière organique, peu abondante, se minéralise rapidement et a une action colorante faible.

La couleur varie du rouge foncé vif au jaune-ocre, mais reste sensiblement homogène dans un même profil.

L'épaisseur du sol rubéfié varie en moyenne entre 1 et 3 mètres. La transition avec le matériau sous-jacent (gneiss peu altéré, grès ferrugineux, grès quartzique, sédiment argilo-sableux continental, calcaire sableux, dalle calcaire) est toujours brutale et confirme l'origine allochtone du sable roux.

#### b) Caractéristiques physiques et chimiques

La réaction du sol est faiblement acide à neutre en profondeur. La proportion d'éléments fins (argile + limon) atteint 20 à 30%. Les sables grossiers sont d'une manière générale un peu plus abondants que les sables fins, surtout dans la partie supérieure du profil.

On n'observe pas de lessivage net de l'argile, dont le taux reste assez homogène dans l'ensemble du profil ; il en est de même pour le fer, dont l'individualisation (rubéfaction) reste le phénomène pédologique essentiel.

Ces sols sont pauvres en matière organique (teneurs souvent inférieures à 1%) et la capacité d'échange du complexe absorbant est faible (2 à 8 m.e./100 g). Ce complexe est le plus souvent pauvrement pourvu et les réserves minérales sont très médiocres.

L'attaque du sol par le réactif triacide donne un rapport silice/alumine un peu supérieur à 2.

### c) Granulométrie, morphologie, minéralogie

La fraction sableuse de dimensions comprises entre 0,05 et 2 mm (les graviers de 2 mm sont toujours très rares) présente en général une distribution très étalée, à trois maxima, dont le troisième seul est relativement net (légère action éolienne). La médiane varie entre 0,30 et 0,50 mm, le coefficient de triage est faible.

Il n'existe pas de pseudo-sable et la déferruginisation ne modifie pas sensiblement la distribution. La plupart des grains de quartz sont peu usés, sales ou diachasés. Sur la fraction de dimensions supérieures à 0,5 mm, on observe un léger picotis des quartz et des dépôts blanc opaque siliceux dans les anfractuosités des plus gros grains. L'indice d'émoussé reste faible et décroît avec la taille.\*

Les minéraux lourds, dont la proportion augmente quand la taille diminue, constituent 3 à 16% des sables ; parmi eux l'ilménite est nettement prédominante, tandis que grenat, spinelle, monazite, olivine, sillimanite, rutile, zircon sont présents seulement à l'état de traces.

Le quartz compose la quasi-totalité de la fraction légère qui contient des traces de feldspaths.

#### 2. — Sables roux sur matériaux calcaires d'origine dunaire

Les matériaux originels de ces sables roux sont des sables calcaires plus ou moins grésifiés. Les séries dunaires les plus anciennes sont les plus grésifiées et en surface la morphologie dunaire a pratiquement disparu. De petites dépressions fermées peuvent être considérées comme les reliques de cette morphologie.

Les séries rubéfiées les plus récentes sont moins grésifiées et riches en débris de coquilles d'Aepyornis ; elles ont conservé une morphologie de dunes paraboliques orientées dans le sens des vents dominants E-S-E, bien visible dans la zone littorale entre le Mandrare et la Menarandra.

La végétation naturelle est un bush dense à Euphorbes et *Alluaudia* principalement. Les nombreux défrichements pour la culture ont substitué à ce bush des jachères à *Panicum voeltzkowii* et *Cynodon dactylon*. Les zones les plus dégradées sont caractérisées par une pseudo-steppe arbustive à *Psiadia altissima*, classique sur les sables roux des nappes d'épandage. A l'ouest de Fort-Dauphin, ce bush s'enrichit d'espèces de la zone orientale humide.

#### a) Morphologie

Le profil est en général peu différencié, le plus souvent rouge vif à rouge orangé, avec un horizon humifère plus ou moins marqué, brun-rouge.

La profondeur de sable rubéfié est en moyenne de 1,50 à 2 m. Le lessivage du calcaire est toujours total dans le sol rubéfié et au contact du

\* Nous ne pouvons ici détailler les résultats et les méthodes employées sont citées dans la bibliographie.

mériau originel existe le plus souvent une zone durcie enrichie en calcaire par lessivage, plus rarement une véritable croûte calcaire.

Il semble d'ailleurs que les phénomènes de décalcification avec formation d'une croûte feuilletée continue de 10 à 20 cm d'épaisseur soient surtout caractéristiques des séries dunaires rubéfiées les plus récentes de la zone littorale (Tuléar, lac Anony). Dans les séries plus anciennes (plateau d'Ambovombe, cap Sainte-Marie) la présence de croûtes est sporadique : ces croûtes calcaires sont à structure zonaire, très durcies et résulteraient souvent de l'altération météorique du grès calcaire. Aussi lorsque le sable roux recouvre une dalle calcaire, il est très probablement allochtone et non en place.

A l'ouest de Fort-Dauphin, sur le versant oriental des chaînes Anosyennes, par suite d'une pluviométrie plus importante, l'altération du matériau calcaire est plus poussée et s'accompagne d'un lessivage du fer et de l'argile, avec concrétionnement ou début de cuirassement. Le profil est alors le suivant :

- 0-20 cm : Horizon rouge brunâtre, humifère, sableux, particulière.
  - 20-50 cm : Horizon rouge foncé vif, sableux, particulière, avec en profondeur quelques taches rouge-violacé, légèrement durcies.
  - 0,50-1 m : Horizon rouge-violacé, enrichi en fer et légèrement grésifié, sablo-argileux, massif, avec quelques concrétions.
  - 1-2,50 m : Horizon rouge-orangé vif, sableux, particulière.
  - 2,50-5 m : Sable jaune non calcaire, particulière.
  - + 5 m : Grès calcaire sableux, blanchâtre, encroûté en surface, mais transition irrégulière avec le sable jaune.
- Epigénie de racines par du calcaire fin.

## b) Caractéristiques physiques et chimiques

La réaction du sol est le plus souvent neutre, à faiblement alcaline en profondeur.

La texture est très sableuse (70 à 90% de sables), la proportion sables fins/sables grossiers étant assez variable. Le taux d'argile dépasse rarement 10%.

Ces sols sont très perméables, peu tassés, ce qui les distingue immédiatement des sables roux des nappes d'épandage. Le ruissellement y est quasi nul.

Le taux de matière organique dépasse rarement 2% et le complexe absorbant a une faible capacité d'échange. Ce complexe est saturé car il est riche en chaux et en magnésium. Les réserves minérales sont très médiocres.

Dans les séries dunaires les plus anciennes, la teneur en calcaire du matériau originel varie entre 15 et 20%, alors qu'elle peut atteindre 40% dans les séries littorales. Cette teneur dépasse 50 à 60% dans la croûte ou

l'horizon enrichi. Le reste du matériau est constitué pour la plus grande partie par du sable siliceux.

L'attaque du sol par le réactif triacide donne un rapport silice/alumine voisin de 2, fréquemment inférieur. Ce rapport est voisin de 1 à l'ouest de Fort-Dauphin.

### c) Granulométrie, morphologie, minéralogie

La fraction sableuse de dimensions comprises entre 0,05 et 2 mm présente une homométrie assez élevée avec un triage éolien plus ou moins net. On peut distinguer deux types dans le sens d'une homométrie décroissante :

— des sables roux dont la médiane varie entre 0,16 et 0,20 mm avec un seul maximum très net voisin de 0,20 mm, la distribution étant légèrement dissymétrique, plus étalée pour les éléments grossiers. L'indice de triage est élevé. Cette distribution s'apparente d'ailleurs de très près à celle des dunes vives actuelles du littoral.

— des sables roux à distribution complexe, dans laquelle apparaît, en plus du maximum précédent, un second maximum compris entre 0,3 et 0,5 mm. La médiane peut alors varier entre 0,17 et 0,30 mm et l'indice de triage est moyen, assez variable. Ce second maximum est probablement la survivance du triage fluviatile originel de ces matériaux.

Chaque grain de sable est recouvert d'une fine pellicule rouille, en général transparente, et il n'y a pratiquement pas de pseudo-sable (agrégation de particules élémentaires par les oxydes de fer). Le fer libre, dont la teneur totale ne dépasse guère 2%, est d'ailleurs contenu au moins pour 30% dans la fraction inférieure à 50. La déferruginisation ne modifie pas la répartition granulométrique.

Sauf quand le sable roux repose sur une dalle calcaire, il n'y a pas de différences fondamentales entre les granulométries du sable rubéfié et du matériau originel, d'où on peut conclure que le profil est en place.

L'étude morphologique révèle la présence de nombreux grains mats éolisés au-dessus de 0,5 mm. Mais l'indice d'éroulé est assez irrégulier car la fraction fine qui est la plus abondante, malgré une certaine usure marine (grains luisants) a surtout bénéficié des apports de grains non usés ou surtout subanguleux. Ces apports ont été variables en fonction de la proximité du socle ou des matériaux néogènes. L'indice d'éroulé est cependant toujours très élevé pour les éléments grossiers. Cet indice d'éroulé est d'ailleurs le plus élevé dans le cas des sables roux allochtones sur dalle calcaire (cuvettes de remplissage).

Dans toute la fraction sableuse de ces sables roux on constate par ailleurs la grande abondance de grains à surface ternie ou picotée. Ce caractère était encore plus net dans les sables roux de nappe d'épandage.

Il faut sans doute l'attribuer à l'ancienneté du matériel quartzique (évolutions pédologiques et remaniements successifs avant le stade actuel).

Du point de vue minéralogique, les minéraux lourds constituent 3 à 15% de la fraction inférieure à 0,5 mm et augmentent rapidement lorsque la taille décroît. L'ilménite et le grenat sont nettement dominants. La fraction légère, essentiellement quartzreuse, contient des traces notables de feldspaths.

Les sables roux du littoral sud-est (région de Fort-Dauphin) se sont formés sur des matériaux originels moins remaniés, issus des chaînes granitiques toutes proches, et de ce fait plus riches en minéraux lourds et surtout en feldspaths. De ce fait, et par suite du climat chaud et humide, les quantités d'argile et de fer libérées sont plus importantes : respectivement 30 et 10% dans l'horizon induré ou à concrétions, contre 18 et 4% dans l'horizon supérieur.

### 3. — Sables roux d'origine alluviale

Dans le sud de Madagascar, étant donné la sécheresse du climat, les rivières qui ne remontent pas trop loin dans le socle ont, dans la zone sédimentaire, une sédimentation à prédominance sableuse. Malgré des vallées étroites et assez encaissées, les alluvions anciennes sont fréquentes (terrasses polygéniques étroites) et elles ont donné naissance à des sols rubéfiés sableux.

#### a) Morphologie

Ces sables roux sont surcreusés de 3 à 5 m au-dessus du lit actuel et la distinction avec les nappes d'épandage est parfois difficile à faire.

Là encore, le profil est peu différencié : l'ensemble du sol est rouge vif avec un horizon humifère brun-rouge peu marqué. En profondeur ces sables roux ont la particularité d'être fréquemment riches en concrétions radiciformes gréso-calcaires, de plusieurs cm, dues à l'épigénie de racines, la nappe riveraine étant particulièrement riche en carbonates.

Ces sables roux reposent souvent sur des alluvions anciennes calcaires ou des roches métamorphiques calco-alcalines altérées, riches en calcaire, ou encore des grès ferrugineux fins d'origine fluviale. On y observe quelquefois des lits de galets quartziques.

#### b) Caractéristiques physiques et chimiques

La réaction du sol est neutre. Les teneurs en sables sont très élevées (80 à 90%). Le taux de matière organique est inférieur à 1% car la végétation est très dégradée. Le complexe absorbant à très faible capacité d'échange est bien pourvu en chaux et en magnésie.

L'attaque du sol par le réactif triacide donne un rapport silice/alumine largement supérieur à 2.

### c) Granulométrie, morphologie, minéralogie

La fraction sableuse de dimensions comprises entre 0,05 et 2 mm se caractérise par une distribution relativement symétrique avec un maximum principal vers 0,4 ou 0,5 mm, les maxima secondaires étant très peu marqués. Dans certains cas cependant la distribution est plus étalée et se rapproche de celle des sables roux des nappes d'épandage.

On observe une forte proportion de grains subanguleux dans toutes les fractions, les autres grains étant non usés, d'où un indice d'émoussé plutôt faible. Presque tous les grains sont sales, à surface ternie.

Les minéraux lourds ne constituent que 1 à 4% de la fraction inférieure à 0,5 mm et on trouve des feldspaths à l'état de traces dans la fraction légère essentiellement quartzreuse.

## GENESE, EVOLUTION ET CLASSIFICATION PEDOGÉNÉTIQUE DES SABLES ROUX

Il semble donc que dans la plupart des sables roux on ait affaire à un matériel sableux très ancien, remanié plusieurs fois au cours des cycles d'érosion, exception faite pour les pédiments les plus récents en bordure du socle pénéplané à "inselbergen".

Si l'on ne tient pas compte des remaniements superficiels dus aux vents souvent violents dans cette région, il semble qu'on puisse considérer comme sols évolués en place seulement les sables roux sur grès calcaires quaternaires. Dans les autres cas : nappes d'épandage, sédiments continentaux, dunes anciennes non consolidées, l'évolution, en particulier le phénomène de rubéfaction, a certainement débuté avant la mise en place définitive du matériau originel.

Si la granulométrie permet dans une certaine mesure de définir l'intensité des remaniements et l'agent de transport le plus actif, les résultats de l'étude morphoscopique ne nous font guère progresser sur la genèse des sables roux. Cela est dû vraisemblablement à l'action limitée dans l'espace des différents agents de transport, à la proximité du socle ancien fournisseur de matériaux peu usés, à la grande fréquence des grains sales ou picotés, et, comme nous l'avons déjà dit, à l'ancienneté d'une partie de ces matériaux. La prédominance des types mixtes a déjà été reconnue sur les sables tropicaux du Sénégal, et attribuée à des phénomènes de dissolution partielle de la silice. Nous ne pouvons conclure d'une manière aussi affirmative pour les sables roux du sud de Madagascar.

Deux processus essentiels entrent en jeu dans l'évolution des sables roux : décalcification et rubéfaction, avec la restriction que ces deux processus ne sont pas obligatoirement liés, ni dans l'espace ni dans le temps.

La rubéfaction, phénomène le plus évident, atteint une intensité variable, mais le fer est le plus souvent à l'état de pellicule fine sur les

grains, sauf dans le cas des sables roux lessivés où les dépôts d'anfractuosités et les agrégats ferrugineux sont abondants.

Lorsque l'individualisation du fer a été seule en jeu, elle a pu commencer avant la mise en place définitive du matériau originel : c'est probablement le cas pour les sables roux des nappes d'épandage. A la faveur des conditions topographiques, cette rubéfaction a d'ailleurs pu être empêchée par hydromorphie (sables blancs).

Les sables roux sur matériaux calcaires résultent d'un processus de lessivage du calcaire avec mobilisation des composés du fer sous forme de complexes ferri et ferrosiliciques. Le lessivage du calcaire a produit dans la plupart des cas la grésification ou l'encroûtement du matériau originel, mais le fait qu'un sable roux repose sur une croûte calcaire n'implique pas qu'il soit en place. Dans la formation de cette croûte peuvent également être retenues les hypothèses suivantes : altération météorique d'un banc calcaire grésifié, formation lacustre en cuvette, croûte de nappe fossile.

Il résulte des faits étudiés et des résultats analytiques, que l'on peut classer les sables roux de la manière suivante :

### 1. — Sols ferrugineux tropicaux, non lessivés, peu humifères

Il s'agit des sables roux des nappes d'épandage et des sables roux d'origine alluviale. L'individualisation du fer est le seul phénomène apparent et le matériau originel n'est pas calcaire. Cependant les autres caractéristiques des sols ferrugineux tropicaux, à savoir une moindre altération des éléments de la roche-mère et une moins rapide décomposition de la matière organique sont ici peu évidents à cause de la texture, d'un climat et d'une végétation particuliers.

Étant donné leur faible évolution en dehors de la rubéfaction, il semble qu'on pourrait les définir par l'appellation suivante : " Sols ferrugineux tropicaux régosoliques ".

### 2. — Sols rouges sableux de décalcification

Il s'agit des sables roux formés sur matériaux calcaires. On peut rapprocher ces sols des sols rouges méditerranéens. Cependant, d'après A. Reifenberg, la formation des sols rouges dans la zone méditerranéenne ne se produit que pour des valeurs de l'indice de Lang  $\left(\frac{P}{T}\right)$  comprises entre 30 et 60 ; or la région côtière du sud a des valeurs voisines de 20 ou inférieures. D'autre part les pluies tombent ici en saison chaude et sont extrêmement irrégulières.

Il n'existe pas jusqu'à présent dans le sud malgache d'indices certains de variations paléoclimatiques malgré la disparition d'une faune à la période subactuelle dont il n'est pas certain qu'elle ait succombé à un accroissement de la sécheresse climatique, sans qu'on puisse exclure cette

hypothèse. Il serait donc osé d'affirmer que ces sables roux sont des sols fossiles. Cependant il est surprenant que le rapport silice/alumine soit parfois inférieur à 2 et nous avons observé des sables roux enterrés à la base des grès calcaires dunaires quaternaires.

Nous proposons donc d'appeler ces sables roux de décalcification "Sols rouges sableux pseudo méditerranéens".

Ces sols sont assez éloignés des "terra rossa" dont se rapprochent au contraire les sols ferrugineux tropicaux sur calcaires décrits par P. Segalen dans le nord-ouest de l'Ile.

Par l'ensemble de leurs caractéristiques, les "Red sandy soils", décrits en Israël par A. Reifenberg, sont très semblables aux sables roux de décalcification du sud malgache, mais ils sont considérés dans de nombreux cas comme d'origine fossile.

Les sables du Kalahari, sur calcaire, décrits par C. R. van der Merwe, présentent des caractéristiques également très voisines de ces sables roux, mais la genèse du profil est différente : en effet, ces sables sont d'origine éolienne, mais l'horizon enrichi en calcaire, qui affleure parfois sous forme d'une croûte, a été bâti dans le dépôt sableux par remontée capillaire et évaporation à partir de la roche susjacente. Ce phénomène n'a jamais été observé dans les sables roux du Sud.

### 3. — Sols ferrallitiques lessivés

Sont classés ainsi les sables roux du littoral sud-est, à l'ouest de Fort-Dauphin. Malgré leur faible extension, ces sols sont intéressants car ils montrent l'action du climat oriental humide sur un matériau calcaire, relativement perméable.

#### MISE EN VALEUR

Les possibilités d'irrigation sont actuellement inexistantes et les cultures liées étroitement à la durée de la saison des pluies, à la hauteur totale des précipitations et à l'intensité des vents desséchants.

Les sables roux des nappes d'épandage sont très difficiles à mettre en valeur, surtout après dégradation de la végétation naturelle.

Au contraire sur les sables roux de décalcification (et les dunes anciennes non décalcifiées) se concentrent les cultures pour lesquelles on préconise l'emploi des haies brise-vent et les assolements où maïs, manioc, sorgho, associés avec une légumineuse (Antaque, Voanemba) alternent avec des prairies fourragères de 2 ou 3 ans. La culture de l'arachide ne peut être pratiquée que tous les 3 ou 4 ans avec engrais vert.

#### Bibliographie

- AUBERT, G. Classification des sols. C.R. Réunion Sous-Comité CRACCUS, Brazzaville, juin 1958.  
 BESAIKIE, H. Recherches géologiques à Madagascar; l'Extrême-Sud et le Sud-Sud-Est. 2 Vol., Bur. géol., Tananarive, 1948.

- DECARY, R., L'Androy. Essai de Monographie régionale. Soc. Edit. Géogr. Mar. Colon. Paris, 1930.
- HERVIEU, J. Notices sur les cartes pédologiques de reconnaissance au 1/200.000<sup>e</sup>. Ambovombe et Ampanihy-Beloha, Public. IRSM, Tananarive, 1958 et 1959.
- MOUREAUX, CL., RIQUIER, J., et SEGALEN, P. Etude pédologique de la Basse Vallée de la Menarandra. Mém. IRSM, D, 1952.
- REIFENBERG, A. Some observations on red soils. C.T. Conf. Pédo. Méditer., 1947.  
The soil of Palestine. Thomas Marby and Co., London, 1947.
- SEGALEN, P. Sur quelques sols dérivés de calcaire dans la région de Majunga. 6<sup>e</sup> Congr. Int. Sci. Sol, V, 92, Paris, 1956.
- TRICART, J., et BROCHU, M. Le grand erg ancien du Trarza et du Cayor. *Rev. Géomorph. Dynam.*, 1955, N<sup>o</sup>. 4.  
Méthode améliorée pour l'étude des sables, L.I.G.U.S. *Rev. Géomorph. Dynam.*, 1958, N<sup>o</sup>. 3-4.