

CLASSIFICATION PEDOLOGIQUE UTILISEE

PAR LES PEDOLOGUES FRANCAIS.

Conférence donnée le 27 Avril 1963 à l'I.N.R.A. (RABAT)
par M. G. AUBERT, Chef de la Section de Pédologie de
l'O.R.S.T.O.M., expert consultant de l'Office National
des irrigations

La première classification Française a été faite, pour l'Association Française pour la Science du Sol, par DEMOLON et HOUDIN qui étaient imprégnés des idées des pédologues Russes. Elle a subi depuis, de nombreuses modifications à la suite des travaux Français (Demolon, Bryssine, Duchaufour) et par contacts avec les pédologues étrangers, mais en gardant l'esprit de la pédologie Russe.

La dernière approximation, dont il sera question ici, a été présentée au Congrès de Gand en 1962.

LES PRINCIPES DE LA CLASSIFICATION

Le sol est étudié dans la totalité de son profil. Il est classé d'après les modes de formation et d'évolution, qui s'expriment par les caractères morphologiques, en relation avec le paysage et le voisinage.

Sols complexes.

Dans un pays comme le Maroc une difficulté sérieuse provient des sols complexes. Il en existe des types très différents.

a/ Sols complexes dans leur roche-mère. Pas de difficultés très sérieuses ici sinon en pratique sur le terrain : au point de vue classification une roche mère complexe intervient au niveau de la famille.

b/ Sols comprenant des niveaux de sédimentation géologique différents, qui ap-
paraissent pas tellement dans le profil du sol (au moins actuellement mais)

- Le sol présente des caractères nets de l'évolution d'un sol actuel, compréhensible en fonction des conditions écologiques générales; mais une évolution ancienne existe et s'exprime par certains caractères secondaires qui ne dissimulent pas les caractères actuels. Le sol doit alors être classé en fonction de l'évolution actuelle, et l'évolution ancienne sera notée au niveau de la famille comme un des caractères du matériau originel, le sol ancien aura servi de reche-mère au sol actuel.
- Dans d'autres cas, on observe les caractères d'une évolution qui a commencé surement il y a très longtemps, mais qui a continué jusqu'à maintenant, avec plus ou moins d'intensité, avec peut-être des périodes d'interruption qui n'ont pas modifié les caractères essentiels du sol. On indique alors cette évolution comme caractère de classe ou sous-classe ou groupe ou sous-groupe de sol.

Il est parfois nécessaire, localement, de différencier, à l'intérieur d'un même groupe ou sous-groupe, les sols qui semblent en équilibre avec l'évolution actuelle de ceux qui ne le sont pas et dont les caractères proviennent surtout d'une évolution ancienne. On indique alors ce caractère fossile du sol au niveau du faciès, niveau local intermédiaire entre le sous-groupe et la famille, ou même au niveau de la série;

(A la récente réunion de Gand, en 1962, il a été ~~proposé~~ d'exprimer ce caractère au niveau du sous-groupe; l'ensemble des pédologues Français a été d'un avis opposé; le déséquilibre de l'évolution par rapport aux conditions écologiques générales actuelles est en effet limité puisqu'il n'est pas susceptible de dissimuler les caractères d'une autre évolution; c'est pourquoi nous le marquons à un niveau bas de la classification: faciès ou série).

LES NIVEAUX DE CLASSIFICATION

On divise les sols en classes, sous-classes, groupes, sous-groupes et dans certains cas faciès. Cette division est faite en fonction essentiellement de l'évolution du sol, des conditions et processus de cette évolution, et de l'intensité de ces conditions et processus, qui s'expriment par les caractères morphologiques d'ensemble que l'on peut observer sur le terrain.

Dans certains cas on a été amené, pour caractériser les sols, à utiliser des éléments qui ne peuvent s'obtenir qu'au laboratoire. C'est une des faiblesses de notre classification et cela correspond à une non-connaissance, provisoire sans doute, des relations qui peuvent exister entre des caractères chimiques que nous considérons comme fondamentaux et leur expression morphologique visible sur le terrain. Si nous n'arrivons pas un jour ou l'autre à retrouver ce caractère morphologique qui exprime ce que nous croyons être un caractère chimique fondamental, c'est probablement que ce caractère chimique est beaucoup moins fondamental que nous ne le croyons et il sera probablement utile, dans la Nè approximation de cette classification, d'apporter une modification sur ce point. Exemple : les sols rouges ferrallitiques que nous ne savons pas toujours très bien définir par rapport à d'autres, les sols rouges méditerranéens comparés aux sols ferrugineux tropicaux, etc...

Classes et sous-classes.

Les classes et sous-classes correspondent essentiellement aux conditions physiques, ou climatiques, ou physico-chimiques, ou chimiques des sols qui s'expriment dans le profil par les caractères suivants:

- le degré de développement du profil.
- Le mode d'altération du matériau exprimé par la libération des sesquioxides, qui restent individualisés ou se complexent, et par les types d'argile, qui donnent au terrain des propriétés physiques particulières, notamment la structure.
- Le type et la répartition de la matière organique. Il faut ici reconnaître que c'est un point délicat de classification. En effet, si certains phénomènes d'altération qui sont à la base de cette différenciation en classes sont très lents, demandant des siècles et des millénaires pour se produire, ce caractère de matière organique, comme d'autres d'ailleurs s'acquiert ou disparaît beaucoup plus rapidement, en fonction souvent de l'action de l'homme.
- Certains phénomènes d'évolution comme l'hydromorphie, l'halomorphie, l'alcalisation, etc... lorsqu'ils sont l'élément fondamental dominant qui donne au sol son caractère, sa physionomie propre. Lorsqu'ils sont peu accentués au contraire ils ne caractériseront que des niveaux très inférieurs de la classification.

Ces différents caractères s'observent sur le terrain, se lisent en fonction de la couleur, des propriétés physiques, parfois des caractères morphologiques du matériau originel.

- Enfin, à un niveau très élevé de la classification, souvent la sous-classe, on utilise la notion de "pédoclimat". C'est là d'ailleurs un des points qui seront à préciser ultérieurement. La raison en est que l'utilisation de cette notion pour caractériser de nombreuses sous-classes, à laquelle nous sommes arrivés après de nombreuses discussions avec des pédologues d'autres pays (U.S.A. en particulier), est une idée relativement récente dans la classification Française et qui n'est pas encore au point. Cette notion de pédoclimat intéresse particulièrement les pays comme le Maroc et il faut espérer que les études qui y sont faites, sur la physique des sols en particulier, aideront à la préciser.

Groupes.

Les groupes de sol sont caractérisés essentiellement par les processus d'évolution. Dans certains cas cependant on a utilisé l'intensité du processus fondamental d'altération, lorsqu'à des intensités différentes correspondent des sols nettement différents, par la morphologie de leur profil.

Sous-groupes.

Les sous-groupes correspondent à des intensités différentes du processus fondamental d'évolution, ou à l'apparition, à côté de ce processus fondamental, de processus secondaires qui viennent compléter l'effet du premier pour donner au sol son individualité.

Faciès.

On a fait allusion précédemment à ce niveau. Son emploi a été suggéré à la suite surtout des travaux des pédologues de Tunisie. Il correspond à des variations faibles de l'intensité d'un processus, variations qui peuvent être aisément caractérisées dans une région donnée mais dont l'utilisation pour une classification mondiale est difficile car elle l'alourdirait trop. Le niveau du faciès est légitime et utile dans une classification régionale, locale, mais nous ne l'utilisons pas pour une classification générale.

Après ces grands niveaux qui représentent les caractères d'évolution du sol, viennent les niveaux suivants, fondés sur d'autres caractères.

Famille. On la définit essentiellement par les caractères pétrographiques du matériau originel sur lequel le sol s'est formé.

Série. Ici interviennent des éléments morphologiques, des détails du profil, des caractères qui influent sur l'utilisation agricole ou plus généralement sur le développement de la végétation. C'est un niveau hétérogène. On y range, à titre d'exemples (non limitatifs) les caractéristiques suivantes : Profondeur du profil, texture, superposition de couches sédimentaires, couche encroutée sous le profil, épaisseur relative des différents horizons; faible caractère d'évolution vers l'hydromorphie, l'halomorphie; érosion, etc...

Types. Parfois, pour des études de détail, on est amené à définir dans une série, bien que le profil reste le même et que le matériau originel ne puisse pas être différencié, des types de sols différents en fonction des caractères de texture de l'horizon supérieur ou plus généralement de l'ensemble du profil.

Phase. Enfin, sous l'influence par exemple de l'homme ou pour quelque autre raison des caractères transitoires et de faible importance, mais ayant des répercussions pratiques, peuvent apparaître dans un profil de sol caractérisé en tant que type. On est alors amené, pour une étude très détaillée, à utiliser la notion de phase; par exemple : cultures, végétation naturelle, érosion.

EXPOSE SCHEMATIQUE DE LA CLASSIFICATION

On insistera dans cet exposé sur les types de sol qui sont trouvés le plus fréquemment au Maroc ou dans des pays analogues.

CLASSE I. - Sols minéraux bruts.

Profil (A) C, c'est à dire où l'horizon humifère supérieur A est à peine différencié. Traces de matière organique. Tendance à peine marquée à la formation d'une structure. Pour les pédologues Américains, ces profils ne correspondent pas à des sols proprement dits.

1. Sous-classe des sols minéraux bruts d'origine climatique.

La non-évolution est due à un pédoclimat très sec ou très froid toute l'année -

A. Groupe des sols polygonaux des pays très froids. On les divise souvent en deux sous-groupes:

- a) Sous-groupe des sols polygonaux typiques, ou modaux.
- b) Sous-groupe des sols rayés ou réticulés (étirement par la pesanteur).

B. Groupe des sols des déserts. Actuellement à la suite des travaux de DURAND, on les divise en trois sous-groupes :

- a) Sous-groupe des sols d'ablation. On les appelle aussi sols de reg, mais c'est un terme géographique trop général pour être gardé à ce niveau. On y distingue, comme Le Houérou, mais au niveau du faciès et non à celui de la famille :
 - regs sableux,
 - regs caillouteux,
 - regs pulvérulents.
- b) Sous-groupe des sols d'apport, appelés aussi sols de dunes; On admet actuellement la subdivision suivante, qui paraît assez développée mais peut naturellement être complétée si le besoin s'en fait sentir:
 - sols d'apport de voile sableux;
 - sols d'apport de microdunes et nebkra;
 - sols d'apport de barkanes;
 - sols d'apport de dunes et cordons dunaires.
- c) Sous-groupe des sols de désert sans mouvement, appelés parfois sols en chaussée, mais ce terme est probablement trop figuratif, Faut-il y distinguer des faciès ? On n'en voit pas encore la nécessité.

Dans une approximation future on peut penser à ramener la différenciation entre sols des pays froids et sols des déserts au niveau des sous-classes; les sols de déserts seraient différenciés au niveau des groupes en sol d'ablation, d'apport et sans mouvement, et les différenciations prévues par Le Houérou seraient reprises au niveau des sous-groupes. C'est discutable : plus facile à utiliser sur certains plans, mais peut-être un peu moins logique que la forme actuelle.

2. Sous-classe des sols minéraux bruts, d'origine non climatique.

Pédoclimat ni très sec, ni très froid toute l'année.

A. Groupe des sols bruts d'érosion ou squelettiques.

On les différencie suivant la nature du substratum en :

- Régosol pénétrable par les racines,
- Lithosol non pénétrable.

B. Groupe des sols bruts d'apport. Ils sont divisés en sous-groupes suivant le processus d'apport :

- Sols minéraux bruts d'apport alluvial
- " " " " colluvial
- " " " " éolien
- " " " " maritime.

CLASSE II. - Sols peu évolués.

Profil A.C. Ces sols sont déjà bien plus importants que les précédents pour la pratique et la cartographie. À la demande de Ph. DUCHAUFOR les sols ne sont rangés actuellement dans cette classe que, s'ils sont pas ou peu calcaires; les sols peu évolués sur matériaux calcaires seraient à mettre dans la Classe III des sols calcimorphes.

1. Sous-classe des sols peu évolués d'origine climatique.

Deux types de pédoclimat limitant l'évolution du sol : soit un pédoclimat froid ou assez froid et très humide pendant toute l'année, soit un pédoclimat sec pendant toute l'année.

A. Groupe des sols de toundras des régions froides.

B. Groupe des Rankers. Sols de faible épaisseur, acides, riches en matière organique peu évoluée et n'ayant pas la structure des tourbes.

Au niveau des sous-groupes, plusieurs classifications ont été proposées. On distingue actuellement :

- Rankers alpins
- Rankers atlantiques.

Le terme de "xérorankers" n'existe plus dans la dernière classification proposée par Ph. DUCHAUFOR en 1963.

C. Groupe des sols gris subdésertiques. Profil faiblement évolué sur une épaisseur assez restreinte à 30 à 40 cm, guère plus de 50 cm. Faible teneur en matière organique répartie assez régulièrement dans tout le profil (ce qu'il est parfois difficile d'estimer à cause de la faible teneur). Faible évolution du calcaire qui a tendance à s'accumuler dans la partie supérieure du profil. Remontée vers la surface des éléments salins solubles. Structure lamellaire en surface, donnant parfois naissance à une croûte faiblement durcie; structure huciforme à polyédrique en dessous, sur l'épaisseur d'évolution du profil.

Ces sols ont été très étudiés par les pédologues Russes. Ils les classent encore parmi les sols steppiques. Pour Mme LOBOVA, il est difficile de concevoir qu'on place côte à côte les sols de toundras et les sols gris subdésertiques; seul le critère de faible évolution les rapproche.

Bien qu'on n'ait pas encore défini de sous-groupes dans ces sols gris subdésertiques on peut en prévoir quatre :

- modal,
- éolisé, avec début de formation d'un reg caillouteux en surface,
- éolisé, avec formation de voile sableux, de micro-dunes, nekra,
- faiblement salé ou alcalisé.

2. Sous-classe des sols peu évolués d'origine non climatique.

A. Groupe des sols d'érosion ou rankers d'érosion.

- Sous-groupe des rankers d'érosion lithiques.
- Sous-groupe des rankers d'érosion régosoliques.

DUCHAUFOUR distingue en outre des rankers à "mull", à "moder" et à "mor", suivant le type de matière organique.

B. Groupe des sols peu évolués d'apport. On les différencie d'après la présence ou l'absence de certains caractères marquant un début d'évolution.

- Sous-groupe des sols peu évolués d'apport non hydromorphes;
- Sous-groupe des sols peu évolués d'apport hydromorphes;
- Sous-groupe des sols peu évolués d'apport à tendance de salinisation; ou d'alcalisation.

CLASSE III.- Sols calcomagnésimorphes.

Ce sont les sols dont l'évolution est dominée par la présence ou l'action d'un sel de calcium, ou de calcium et magnésium, ou de magnésium.

Une difficulté ici : il est possible que certains sels de magnésium donnent naissance à des sols à alcali (Algérie), que l'on devrait alors classer avec les sols halomorphes. On peut toutefois penser que ce n'est pas le carbonate de magnésium, mais l'ion Mg adsorbé sur le complexe d'échange, qui alcalise le profil.

Certains auteurs avaient pensé grouper dans cette classe tous les sols dont le complexe adsorbant était saturé de Ca et Mg. C'était aller trop loin : il faudrait ranger ici des sols de régions très différentes, ayant des caractères typiques d'autres classes de sols, tels certains sols ferrallitiques humifères par exemple. En outre, on aboutirait à faire une classe énorme, déséquilibrée par rapport aux autres sur le plan géographique.

Ces sols ont un profil de type AC ou A (B) C; l'horizon (B) étant fondamentalement différencié par la structure, la couleur ou la consistance, et non par la texture (pas de migration d'argile).

1. Sous-classe des sols humifères à calcaire ou dolomie.

A. Groupe des rendzines vraies. Sols à profil AC, sans horizon (B).

Teneur en matière organique élevée. Teneur en calcaire élevée sur l'ensemble de l'horizon.

Structure en éléments arrondis, grenue, nuciforme, parfois grumeleuse. On rattache aussi au rendzines vraies (à la suite de discussions avec des collègues Belges) les rendzines sableuses, à structure monoparticulaire, mais dont les propriétés physiques sont analogues. La structure est importante pour la classification par son influence sur les propriétés physiques du sol.

- a) Sous-groupe des sols humiques carbonatés. Formés d'éléments humiques et de calcaire, en agrégats plus ou moins arrondis. Ils sont rares: on en a décrit en montagne dans les Alpes, et en Océanie sur le corail.
- b) Sous-groupe des rendzines typiques, rouges, grises, blanches, noires.
- c) On pourrait classer ici comme sous-groupe les "rendzines initiales" de Duchaufour, sols peu évolués et faiblement humifères. Ce sont des rendzines à peine formées, qui sont simplement le matériau calcaire ou marneux originel à peine transformé, avec de faibles quantités de matière organique. D'autres pédologues ont pensé à ranger ces sols dans la classe des sols peu évolués.

B. Groupe des rendzines à horizons. (Profil A(B)C).

Teneur assez élevée en matière organique. Forte teneur en calcaire sur l'ensemble du profil dans les deux horizons.

- a) Sous-groupe des sols humiques carbonatés acidifiés en surface sous l'influence de la végétation (en montagne; en Champagne sous bois de pins). Sur une rendzine assez typique ou sur un sol brun calcaire il y a un horizon d'humus brut.
- b) Sous-groupe des rendzines dégradées, sols "bruns calcaires", ayant un horizon (B) à structure prismatique ou polyédrique fine à moyenne, et moins poreux que dans les sols de rendzine.
- c) Sous-groupe des sols bruns calcaires hydromorphes, caractérisés par un élargissement de la structure de l'horizon (B) et qui feraient la transition avec divers types de sols dits "vertisols".

C. Groupe des rendzines dolomitiques ou à carbonate de magnésium.

On peut y distinguer deux sous-groupes :

- vraies par la structure,
- dégradées.

2. Sous-classe des sols à accumulation gypseuse.

Il n'y a ici qu'un groupe, celui des sols à accumulation gypseuse nettement localisée. On peut y distinguer deux sous-groupes :

- à croute dure,
- à encroutement.

Il ne s'agit pas ici d'accumulation provoquée par la présence d'une nappe phréatique, sinon on rangerait ces sols, comme pour ceux à accumulation calcaire de nappe, parmi les sols hydromorphes.

Ces sols se forment sur un matériau gypseux, par exemple une argile à cristaux de gypse, donnant à la surface, même en pente, une croute gypseuse souvent dure et polygonale, ou un encroutement.

CLASSE IV.- Vertisols et Paravertisols.

Le terme vertisol vient des U.S.A. Il désigne des sols ayant les caractères suivants :

- teneur en argile d'au moins 35 %
- proportion importante ou dominante d'argile gonflante du type Montmorillonite;
- couleur foncée par rapport à la teneur en matière organique;
- structure large, au moins dans la seconde moitié du profil;
- très forte cohésion des agrégats dans les horizons moyens et profonds;
- très forte compacité des mottes, la macroporosité devenant très faible ou nulle.

En fait les deux premiers caractères précédents paraissent trop restrictifs. La limite inférieure de 35 % d'argile semble excessive et il est préférable de ne pas fixer cette limite. On connaît par ailleurs des vertisols typiques qui ont des teneurs en montmorillonite très faibles ou même nulles (Kenya, Vallée du Niger).

Le terme de "paravertisol" a été ajouté pour permettre de classer ici les sols qui ont les caractères morphologiques des vertisols sans avoir des teneurs ou type d'argile conformes aux normes précédentes.

1. Sous-classe des vertisols et paravertisols à pédoclimat très humide pendant de longues périodes.

On les trouve en zones planes ou dans des dépressions. Ils subissent des périodes prolongées d'engorgement, mais pas un engorgement permanent.

Ce sont des vertisols "topomorphes", liés surtout à la topographie.

En général ils se forment dans des régions assez chaudes: onⁿen connaît qu'à partir du midi de la France et jusqu'aux zones équatoriales.

A. Groupe des vertisols hydromorphes, topomorphes, ayant une structure de surface fine "grumosolique" sur plus de 20 cm.

B. Groupe des vertisols hydromorphes topomorphe ayant une structure large dès la surface.

2E Sous-classe des vertisols à pédoclimat seulement temporairement humide.

Ils sont situés sur des zones à faible pente (on n'en connaît pas encore sur pentes fortes), et liés à des types de roche-mère fournissant au sol de l'argile gonflante en quantité importante. Ce sont des vertisols "lithomorphes".

On les trouve par exemple sur des gneiss à pyroxène, des basaltes, des roches volcaniques basiques

A. Groupe des vertisols lithomorphes grumosoliques, c'est à dire avec un horizon de surface à structure fine. Ce sont les plus fréquents.

B. Groupe des vertisols lithomorphes à structure large dès la surface.

La position de ces sols dans la classification ne satisfait pas tout le monde. Pour certains ce qui compte surtout dans leur formation, c'est la richesse en certains types d'argile et le lien avec certaines roches-mères : ils auraient alors préféré les mettre avec les sols Calcomagnésimorphes.

Pour d'autres ce sont les conditions d'hydromorphie qui sont dominantes, non pas hydromorphie de nappe (qui peut d'ailleurs se juxtaposer en profondeur), mais hydromorphie d'engorgement, et ils auraient préféré les ranger dans la classe des sols hydromorphes.

Dans les approximations précédentes, ces sols étaient distingués au niveau des sous-classes, ce qui explique qu'on n'ait pas encore défini de sous-groupes dans la classification actuelle. Il sera possible de distinguer des intensités différentes du processus (exemple, avec les termes locaux Marocains: sols tirsifiés et tirs).

CLASSE V. Sols isohumiques ou steppiques.

Ces sols sont caractérisés par une teneur progressivement décroissante en matière organique nettement évoluée (mull ou mull calcique) sur plus de 30 cm (plus de 50 cm pour certains auteurs).

Ce sont des sols à profil AC ou A(B)C; l'horizon B peut cependant être textural, mais ne semble pas alors correspondre à une véritable migration d'argile, bien que dans certains cas on puisse se poser la question.

Le problème de la classification de ces sols est difficile. La forme actuelle est une approche; elle, n'est pas très satisfaisante parce qu'à un niveau élevé, celui des sous-classes, ce sont des caractères assez mal définis actuellement qui nous servent; donc, ou bien nous pourrions définir ces caractères de façon plus précise, chiffrée si possible, ou bien nous serons amenés à repenser complètement l'organisation de cette classe.

Actuellement, nous essayons d'utiliser la classification suivante :

1. Sous-classe des sols isohumiques à complexe partiellement désaturé.

C'est une sous-classe un peu à part, qui ne comprend que le groupe des Brunizems ou sols de la prairie, décrits aux U.S.A., en Argentine et dans quelques autres pays.

2. Sous-classe des sols isohumiques à complexe saturé, à teneur en matière organique élevée, à pédoclimat très froid une partie de l'année.

Ce sont les sols de steppe où pendant l'hiver il gèle ou neige de façon importante, ce qui entraîne une forte accumulation de matière organique. Ces sols ont été étudiés en premier lieu en Russie, dès la fin du 19ème siècle.

On distingue au niveau des groupes : les chernozems, les sols chatains, les sols bruns steppiques, les siérozems. Leur différenciation est basée sur la richesse en matière organique, la décarbonatation des horizons supérieurs, la structure.

3. Sous-classe des sols isohumiques à complexe saturé se formant sous climat subtropical ou méditerranéen.

Teneur en matière organique faible, car les périodes humides sont aussi des périodes suffisamment chaudes pour que la minéralisation intervienne activement.

Altération plus accentuée en profondeur, entraînant la constitution d'un horizon plus argileux, par création soit de minéraux phylliteux proprement dit soit de fractions granulométriques plus fines (le terme "argile" est pris dans les deux sens). Parallèlement et à cause de cette altération plus forte ces sols sont au moins faiblement rubéfiés.

Décarbonatation moins poussée que dans la sous-classe précédente.

On ne connaît pas de sols correspondant aux chernozems dans les régions subtropicales ou méditerranéennes et cette sous-classe est divisée en trois groupes.

- A. Groupe des sols chatains subtropicaux. Teneur théoriquement assez élevée en matière organique; mais ce caractère est à manier avec précaution et peut-être à laisser de côté dans ces pays-ci, où l'action de l'homme et de la culture depuis des siècles peut le faire disparaître complètement.

Décarbonatation poussée des horizons supérieurs.

Structure grumeleuse à nuciforme dans l'horizon supérieur et devenant prismatique moyenne en profondeur. On y distingue les sous-groupes suivants:

- a/ chatain modal;
- b/ chatain rouge; cas douteux, il suppose une rubéfaction pédogénétique très nettement accusée; à ne pas confondre avec un sol chatain modal sur matériau rouge;
- c/ chatain encrouté; l'accumulation de calcaire n'est pas limitée aux nodules comme dans le chatain modal; il est caractérisé par l'importance d'un horizon calcaire friable, ou "encroutement" (et non par la croute dure). La limite entre les sols chatains modal et encrouté aurait d'ailleurs besoin d'être encore étudiée;
- d/ chatain "tirsifié"; hydromorphie de "tirsification"; horizons profonds à structure prismatique plus large devenant en plaquettes en profondeur, à macroporosité très faible; couleur du sol devenant plus foncée;
- e/ chatain hydromorphe; hydromorphie de gley ou pseudogley; soumis en profondeur à des régimes de réduction puis de réoxydation des oxydes de fer et parfois des composés de manganèse, ce qui se traduit par des taches ou concrétions.

Signalons par ailleurs qu'il faudra peut-être prévoir ultérieurement un sous-groupe de sols chatains halomorphes.

B. Groupe des sols bruns subtropicaux. Teneur en matière organique plus faible que dans les sols chatains (avec les mêmes réserves sur ce caractère que pour le groupe précédent).

Décarbonatation de surface plus faible mais nette avec accumulation en profondeur sous forme d'amas friables et parfois de granules et modules. (Il y a des cas de décarbonatation complète en surface, on le notera au niveau du faciès régional).

Structure grumelleuse à nuciforme en surface, pouvant devenir lamellaire sous culture. En profondeur la structure est la plus souvent polyédrique moyenne.

Argilification de profondeur constante, théoriquement par transformation d'éléments sur place et non par lessivage (en fait le lessivage n'est peut-être pas à écarter complètement pour ces sols dont l'argile se disperse facilement).

On distingue les mêmes sous-groupes que pour les sols chatains subtropicaux :

- modal
- rouge (?)
- encrouté
- tirsifié
- hydromorphe
- faiblement salé (avec plus de probabilité ici).

(En ce qui concerne l'argilification, il faut reconnaître que dans la majorité des cas nous employons ce terme sans lui donner de sens très précis. En Australie des études détaillées ont montré une argilogénèse vraie en profondeur. A propos, de l'analyse granulométrique, si on veut vraiment juger de ce phénomène d'argilification dans les sols calcaires, il semble nécessaire de faire une double analyse avec et sans décarbonatation préalable).

C. Groupe des siérozems. Teneur en matière organique très faible (mêmes réserves que précédemment).

Migration très faible ou nulle du calcaire; autrefois quand cette migration dépassait les erreurs d'analyse on rangeait les sols dans la catégorie des bruns steppiques; les pédologues Russes demandent maintenant d'être moins strict et d'admettre un début de migration du calcaire.

Structure rappelant celle des sols bruns steppiques d'où une difficulté pour les différencier de ces derniers dans le cas de matériaux originels peu calcaires.

Pratiquement pas d'argilification en profondeur.

4. Sous-classe des sols isohumiques à complexe saturé des régions tropicales.

Pédoclimat chaud pendant la courte période humide. Teneur en matière organique faible par rapport aux sols de la seconde sous-classe, mais relativement élevée par rapport aux sols de la même région qui n'ont pas le même type d'évolution.

Individualisation très poussée des sesquioxydes, donnant lieu à une rubéfaction fréquente, soit actuelle, soit subactuelle (matériaux rouges anciens).

Argilification au contraire plus faible que dans les sous-classes précédentes.

En ce qui concerne le calcaire on n'a pas de données car ces sols ont été étudiés sur matériaux non calcaires (Aubert, Pia; Maignien : sols bruns sub-arides de Mauritanie et du Sénégal). On ne sait pas ce qui se passerait sur matériau calcaire. Sur roche-mère peu calcaire il semble que la pluviométrie suffirait à provoquer une décarbonatation assez poussée des horizons supérieurs; à moins que le passage de la saison humide à la saison sèche ne soit trop brutal.

On se limite actuellement à un seul groupe, celui des sols bruns arides (terme peut-être mal choisi) ou bruns tropicaux, avec quatre sous-groupes :

- modaux
- rouges : sols particulièrement rubéfiés, sur matériaux perméables ou pauvres en bases;
- hydromorphes, à gley ou pseudc-gley;
- salés ou halomorphes (?)

CLASSE VI. : Sols à humus évolué, ayant peu d'hydroxydes libérés de leur forme minérale silicatée, ces hydroxydes libérés restant liés au complexe argilo-humique. Profil ABC ou A(B)C.

Ce sont les "sols à Mull". On y distingue deux sous-classes :

1. Sous-classe des sols à Mull des pays tempérés.

Pédoclimat frais toute l'année ou au moins pendant la saison des pluies.

On peut penser à priori qu'il est possible de trouver au Maroc des sols à mull présentant les mêmes caractères que ceux des pays tempérés.

Cette sous-classe comprend deux groupes classiques : les sols lessivés et les sols bruns des régions tempérées. Ces deux groupes sont distingués en fonction du lessivage (c'est à dire de la migration) de l'argile entre les horizons A et B.

A. Groupe des sols lessivés. Indice de lessivage supérieur à 1/1,4.

On distingue dans le profil les horizons suivants : A₁ humifère; A₂ moins humifère, plus clair mais jamais complètement blanchi ni cendreaux;²
B illuvial.

- a/ Sous-groupe des sols lessivés podzoliques. Horizon A₂ blanchi, non cendreaux. Lessivage poussé, généralement supérieur à 1/3. Matière organique presque toujours constituée d'un mélange de mull et de moder, avec dominance du mull. C'est un terme de passage vers la classe VII.

- b/ Sous-groupe des sols lessivés typiques ou modaux. Horizons A et B très nets. A2 bien différencié, clair mais non blanchi. Indice de lessivage entre $1/3$ et $1/2$.
 - c/ Sous-groupe des sols bruns lessivés. A et B très nettement différenciés; A2 visible mais peu différent de A1. Rapport de lessivage entre $1/2$ et $1/1,4$. La matière organique est du mull.
 - d/ Sous-groupe des sols lessivés à lessivage oblique. L'horizon d'accumulation se forme à la base non du profil mais de la pente. Ils paraissent peu répandus.
 - e/ Sous-groupe des sols lessivés hydromorphes. B s'élargit et prend des caractères de tirsification. On pourrait peut-être distinguer deux catégories suivant l'hydromorphie, soit d'engorgement, soit de réduction (à gley ou pseudo-gley).
- B. Groupe des sols bruns des régions tempérées. Lessivage de l'argile inférieure à $1/1,4$. Horizon B à peine visible. Humus doux (mull).
- a/ Sous-groupe des sols bruns faiblement lessivés, à horizon B très faiblement caractérisé.
 - b/ Sous-groupe des sols bruns modaux, à profil homogène, lessivage pratiquement nul; souvent appelés "mélanisés" car ils sont fréquemment très foncés; pH supérieur à 6 pour l'ensemble du profil.
 - c/ Sous-groupe des sols bruns acides (U.S.A.), qui correspond plutôt à une famille différente; même mode de formation que le sol brun typique mais sur un matériau acide; le pH de certains horizons est inférieur à 6; humus doux.
 - d/ Sous-groupe des sols bruns à gley ou pseudo-gley en profondeur.

2. Sous-classe des sols à mull des pays tropicaux ou subtropicaux.

Pédoclimat au moins temporairement à la fois chaud et humide. Cette sous-classe pose un problème : les sols bruns à mull des régions tropicales et subtropicales doivent-ils être rangés, comme ici, dans la même classe que les sols bruns à mull des pays tempérés, en tenant compte du fait qu'ils ont le même type d'humus? Ou bien, faut-il prendre en considération les différences provoquées par les climats, réelles quoique moins fortes qu'on ne le pensait autrefois, et les mettre dans des classes différentes ?

Groupe des sols bruns eutrophes tropicaux. Le pédoclimat est nettement plus chaud que celui des sols bruns à mull des régions tempérées; il provoque une altération des minéraux et une argilogenèse plus forte; la rubéfaction, par contre, n'est pas beaucoup plus forte (on n'a pas encore expliqué pourquoi). La profondeur du profil est bien plus grande. La structure est généralement plus accusée.

Ce sont des sols des régions tropicales et même subéquatoriales (jusqu' en basse Côte d'Ivoire), avec des profils souvent de plus de deux mètres de profondeur, une argilogenèse assez forte, une teneur en bases encore élevée, un complexe adsorbant fortement saturé. On ne connaît pas encore exactement leur mode de formation. Ils sont importants sur le plan cartographique et économique par leur richesse.

Problème des sols bruns méditerranéens.

Dans les régions méditerranéennes certains pédologues admettent l'existence de "sols bruns méditerranéens" distincts des sols rouges méditerranéens et des sols bruns tempérés. C'est un problème qui n'est pas encore résolu.

Au point de vue morphologique ces sols sont proches des sols bruns tempérés, avec cependant un caractère rubéfié qui ressort sous la couleur brune.

Il en existe qui sont très proches des sols rouges méditerranéens (Afrique du Nord, Australie, Californie). Dans le Moyen Atlas on en voit qui sont analogues aux sols bruns du Massif Central Français ou de l'Est de la France.

Pour leur classification il y a trois solutions : ou bien les rapprocher simplement des sols bruns tempérés, ou bien les mettre dans la même classe, mais dans une sous-classe ou un groupe différent, ou bien en faire un groupe proche des sols rouges méditerranéens dans la Classe VIII.

CLASSE VII.- Sols à humus grossier et présentant une forte proportion d'hydroxydes libérés.

Ce sont les "sols à mor". Profil ABC. Ils sont caractérisés par le phénomène de podzolisation. On ne les étudiera pas en détail ici.

La podzolisation est définie non par l'horizon cendré A2, mais par l'individualisation et le maintien sous forme individualisée de l'hydroxyde de fer, sous l'influence d'un humus grossier.

Ceci entraîne une difficulté de classification lorsqu'un sol podzolique a été transformé par la culture. En effet, il devient alors difficile de séparer certains sols podzoliques de certains sols ferrugineux tropicaux et même ferrallitiques, si on ne fait pas intervenir le contexte de la matière organique brute qui a provoqué la libération et le maintien de l'hydroxyde de fer en quantité massive.

Pour mémoire, cette classe est divisée de la façon suivante :

- 1/ Sous-classe des sols à mor parfois à gley, mais sans nappe, qui comprend trois groupes :
 - Podzols : horizon A2 cendré bien développé, horizon B1 (accumulation d'humus) presque toujours présent.
 - Sols podzoliques à horizon A2 moins typiquement cendré, horizon B1 nul ou presque nul.
 - Sols ocre podzoliques : individualisation des hydroxydes de fer mais pas de migration des hydroxydes de fer et de l'humus (pas d'horizon A2 ni B1).
- 2/ Sous-classe des sols à mor à hydromorphie de nappe, avec le groupe unique des podzols de nappe.

.../...

CLASSE VIII.- Sols à sesquioxydes fortement individualisés et à humus de décomposition rapide.

Trois sous-classes : sols rougés méditerranéens, sols ferrugineux tropicaux (ou fersiallitiques), sols ferrallitiques. On ne parlera ici que de la première.

Nous avons été amenés à maintenir la séparation entre sols ferrugineux tropicaux et sols rouges méditerranéens bien que sur le terrain ils soient difficilement séparables. Sur le plan morphologique ils ont beaucoup de points communs. Leurs différences théoriques sont les suivantes : en premier lieu le sol rouge méditerranéen a toujours une roche-mère calcaire ou calcique alors qu'en régions tropicales on ne connaît de sols ferrugineux que sur matériaux pauvres en bases et sans calcaire; ensuite dans les sols rouges méditerranéens le fer se lie à la silice pour donner un complexe ferrisilicique capable de migrer même en présence de calcaire, alors que dans les sols ferrugineux tropicaux les oxydes de fer restent individualisés et non liés à la silice.

Sous-Classe des sols rouges méditerranéens.

Présence d'un humus rapidement minéralisé, à évolution rapide et bonne décomposition. Structure grumelleuse à nuciforme en surface, puis nuciforme à polyédrique dans les horizons profonds, bien différenciée et nettement accusée. Migration du calcaire en profondeur, le passage des horizons pas ou peu calcaires à la couche calcaire étant brutal. Rubéfaction pédogénétique entraînant l'apparition dans le sol d'une couleur rouge qui est intense par rapport à la richesse en fer libre de la roche-mère.

Au niveau du groupe on distingue :

- Sols rouges méditerranéens non lessivés.
- Sols rouges méditerranéens lessivés : migration de l'argile et des sesquioxydes.
- Et peut-être ici des sols bruns méditerranéens (voir plus haut).

CLASSE IX.- Sols halomorphes.

L'évolution de ces sols est dominée par l'influence prédominante, soit de sels solubles, soit de certains ions échangeables adsorbés par le complexe colloïdal et dégradant la structure. Les limites classiquement utilisées sont:

- pour le Sodium (et peut-être le magnésium) échangeable un pourcentage par rapport à la somme des cations adsorbés, tel qu'il provoque la dégradation de la structure d'au moins un des horizons du profil; cette limite est généralement située autour de 12 % de sodium;
- pour la salure, une conductivité électrique de la pâte saturée supérieure ou égale à 4 millimhos dans les divers horizons.

Toutefois, en ce qui concerne la salure la limite de 4 millimhos semble d'une part trop précise, car son action est différente pour les horizons de surface et de profondeur, d'autre part trop basse. Pour les sols un peu salés, (ou faiblement alcalisés), il vaudrait mieux faire des sous-groupes rattachés à d'autres groupes de sols (siérozem, sols bruns steppiques); et il serait préférable de ne classer comme halomorphes que les sols ayant une teneur en sels

solubles assez forte pour transformer les caractères morphologiques visibles du profil.

Par ailleurs, les variations de teneur en sel au cours d'une année dans un même profil peuvent être fortes, c'est une autre raison pour qu'on soit strict sur les caractéristiques de salure avant de classer un sol comme halomorphe. (Les pédologues Russes sont d'accord là-dessus avec les Français, mais non les Américains).

1/ Sous-classe des sols halomorphes à structure non dégradée.

Profil AC. Elle correspond au groupe des sols salins. Simple accumulation de sels dans le sol. Le complexe adsorbant n'est pas transformé. La structure n'est pas modifiée, elle a simplement une tendance à être un peu plus flocculée en surface, de façon nette mais non permanente.

On pourrait distinguer deux sous-groupes :

- Sols salins à croute saline en surface,
- sols salins friables en surface.

2/ Sous-classe des sols halomorphes à structure modifiée.

Profil ABC ou A (B) C. On les divise en deux groupes :

A. Groupe des sols à alcali non lessivés. Il n'y a pas de migration d'argile. On y distingue deux sous-groupes.

- a/ Sols à alcali non lessivés moyennement salés sans structure poudreuse en surface.
- b/ Sols à alcali non lessivé fortement salés à structure poudreuse en surface.

B. Groupe des sols à alcali lessivés.

Trois sous-groupes : Solonetz, Solonetz solodisés, Solodg. Ils sont probablement rares au Maroc.

N.B. La division précédente en groupes est généralement admise par les pédologues Français, mais les sous-groupes ne le sont pas unanimement; J. BOULAINÉ par exemple voudrait distinguer les sols halomorphes qui s'enrichissent en sel (sols halomorphes vifs) et ceux qui ne continuent plus à se saler (sols halomorphes morts ou crypto-halomorphes).

CLASSE X - Sols hydromorphes.

Ce sont des sols dont l'évolution est nettement dominée par un excès d'eau sous forme de nappe ou d'engorgement.

1/ Sous-classe des sols hydromorphes organiques.

Engorgement total et permanent. Ce sont les sols tourbeux. On les divise en deux groupes (Ph. Duchaufour).

- A. Groupe des sols tourbeux eutrophes ou mésotrophes, qui correspondent aux anciennes "tourbes basses".
- B. Groupe des sols tourbeux oligotrophes, qui correspondent aux anciennes "tourbes hautes".

2/ Sous-classe des sols hydromorphes moyennement ou peu humifères.

Pédoclimat temporairement sec sur une partie importante du profil.

- A. Groupe des sols humiques à gley. Ce sont les anciens sols "semi-tourbeux". La matière organique, bien mélangée à la matière minérale, est en teneur relativement forte, 8 à 15 %: cette limite est encore mal définie, il faudrait probablement la modifier suivant la texture du sol.
- B. Groupe des sols à gley et pseudogley de surface ou d'ensemble. Le phénomène d'hydromorphie de nappe ou d'engorgement commence dès la surface. Il peut n'être qu'un phénomène de surface, mais dans ce cas avec un engorgement total et prolongé, par exemple certains sols longtemps inondés.
- C. Groupe des sols à pseudo-gley de profondeur. Hydromorphie très importante d'engorgement qui représente vraiment le caractère dominant du sol, avec un horizon superficiel dépourvu d'hydromorphie sur 20 ou 25 cm (différence avec les sous-groupes hydromorphes des groupes brun steppique ou rendzine à horizon, pour lesquels l'engorgement se produit à plus grande profondeur).
- D. Groupe des sols peu lessivés à gley de profondeur. Hydromorphie de nappe en profondeur. C'est le vrai "gley". Il sera probablement intéressant plus tard de séparer au niveau des sous-groupes les gleys anciens des gleys actuels, de même pour les pseudo-gleys, mais on ne sait pas encore très bien établir cette distinction.
- E. Groupe des sols lessivés à gley de profondeur. Ce sont des sols actuellement peu étudiés et d'ailleurs peu courants, qui existent dans certaines régions tropicales ou équatoriales. Ils sont souvent très profonds, assez sableux en surface puis très argileux avec un horizon d'accumulation vers 2 - 3 m; forte gleyification en profondeur mais des taches d'oxyde de fer remontent parfois presque jusqu'à la surface. L'humus est généralement assez bien évolué mais a parfois des caractères de moder et même de mor.

Rédigé par J. WILBERT (I.N.R.A.)
P. BILLAUX (O.N.I.)