

CHAPITRE III

LA CARACTERISATION DU SOL SUR LE TERRAIN

R. MAIGNIEN

La caractérisation du sol est une opération délicate, souvent fort longue pour être bien faite. Elle relève d'un ensemble de techniques très différentes qu'on ne peut mettre en œuvre dans le même temps et qui le sont souvent par des personnes différentes.

Il faut tout d'abord opérer une caractérisation très précise du lieu où est observé le sol, définir son environnement : par ses données climatiques, la végétation qu'il supporte, la nature de la roche-mère, la géomorphologie qui commande, dans une certaine mesure, le drainage, l'abondance des roches, l'érosion.

Dans un deuxième temps, il faut décrire soigneusement le sol horizon par horizon et donner les caractéristiques essentielles qui sont la couleur, la texture, la structure, la porosité, la consistance, la cohésion, l'enracinement, etc.

La description du sol, effectuée sur le terrain, doit être complétée par des déterminations variées au laboratoire. Des mesures physiques permettent de donner des valeurs chiffrées aux appréciations du terrain en ce qui concerne la texture et la structure. On précise le comportement du sol vis-à-vis de l'eau. Le complexe absorbant est étudié à son tour (capacité d'échange, bases échangeables, degré de saturation). Les propriétés électro-ioniques telles que réaction et potentiel d'oxydo-réduction font l'objet de mesures. La détermination des minéraux argileux, des oxydes et hydroxydes, des sels contribue également à la connaissance des sols, par mise en œuvre de techniques physiques modernes.

Mais, comme le sol est également un milieu vivant, sa caractérisation biologique fait apparaître une richesse considérable à la fois dans le domaine de la microflore (bactéries, champignons, etc.), microfaune (protozoaires, nématodes) ou faune (acariens, termites, fourmis, etc.).

La caractérisation des sols est donc une opération longue et complexe. Une conclusion sur chaque horizon et sur chaque sol ne peut donc intervenir immédiatement. Les formulations qui ont pu être faites sur le terrain doivent être complétées et confirmées par celles du laboratoire.

3.1. - Données concernant l'environnement.

3.1.1. Généralités.

Il est important de préciser toutes les données relatives au milieu dans lequel s'insère le sol étudié. En effet, de tous les facteurs de formation du sol dépendent son développement et son évolution. De plus, ces facteurs orientent le choix des méthodes à mettre en œuvre lors de la mise en valeur du sol.

Un certain nombre de données comme les données climatiques ne peuvent, bien entendu, être obtenues sur place ; elles doivent faire l'objet d'une étude, avant le départ sur le terrain, qui se traduira par la connaissance des valeurs suivantes : chiffres mensuels de la pluviométrie, et extrêmes observés ; températures minima, maxima, moyennes mensuelles et annuelles. On dresse des graphiques tels que le diagramme ombro thermique de GAUSSEN ; on calcul l'évapotranspiration potentielle, et si cela apparaît utile pour la comparaison avec les régions voisines, on calcule les indices climatiques.

Sur les cartes, on note soigneusement les altitudes dont les effets interviennent dans l'appréciation des climats. L'augmentation de l'altitude se traduit souvent par celles des teneurs en matières organiques du sol. Il y a donc lieu de distinguer les sols de montagne des sols de régions basses. L'altitude est donnée en valeur absolue et en mètres. On peut indiquer la cote relative lorsqu'on travaille sur des terrasses alluviales (terrasses + 7, + 23 m, etc.).

Mais à ces données fournies par les services météorologiques, par l'étude des cartes, s'ajoutent d'autres dont certaines ont pu déjà faire l'objet de travaux sur le terrain, de cartes thématiques (cartes de végétation, cartes géologiques, etc.). Elles sont, bien entendu, largement utilisées, mais complétées par de nombreuses observations particulières sur le terrain et concernent la géomorphologie, la végétation, le drainage, l'abondance des roches, l'érosion, etc.

3.1.2. Végétation ou système de culture.

Sans aller jusqu'à une étude phytosociologique, un certain nombre de caractéristiques peuvent être précisées :

- type de formation : forêt ombrophile, décidue, xérophile, etc. ; savane, steppe, prairie ; plantation arbustive, champs cultivés, etc., et leurs hauteurs.
- Strate herbacée :

0 - 10 cm	10 - 50 cm	50 - 100 cm	> 100 cm
prostrée	inférieure	moyenne	supérieure
- Strate ligneuse :

0,25 cm	0,25 - 2 m	2 - 8 m	> 8 m
---------	------------	---------	-------
- Espèces dominantes et caractéristiques. On indique dans l'ordre : les arbres, les arbustes, puis les espèces herbacées annuelles et vivaces. Les noms botaniques, les noms vernaculaires sont fournis.
- Aspect physionomique des peuplements. On signale en particulier si les espèces végétales sont de belle venue, ou, au contraire, dégradées pour des raisons diverses (feux, nappe phréatique, présence d'un niveau imperméable, déficit hydrique, cultures, etc.)
- Degré de recouvrement du sol. Cette donnée permet d'apprécier les possibilités d'ensoleillement à la surface du sol ; le rôle du couvert végétal contre l'érosion ; le renouvellement du stock organique, etc.
- On précise les relations entre la végétation et le type de matière organique que recouvre le sol (mor, moder, mull, etc.).

3.1.3. Roche-mère et matériau originel.

L'ensemble des données concernant la roche-mère et le matériau originel est d'une grande influence sur l'évolution des sols. Aussi, elles doivent être précisées le mieux possible. En particulier, il est indispensable d'indiquer s'il y a ou non des relations entre la roche fraîche sous-jacente et le matériau originel. Des apports secondaires peuvent modifier sensiblement les caractéristiques du matériau et doivent être signalées. Les caractéristiques à considérer sont les suivantes :

- **Nature des roches.** On indique le nom de la roche, et précise suivant les cas : son état de cristallisation s'il s'agit d'une roche éruptive, ou sa friabilité, s'il s'agit d'une roche sédimentaire ; sa richesse en certains éléments déterminants pour la pédogenèse : cations alcalino-terreux (calcium, magnésium, sodium), minéraux noirs riches en fer, en magnésium, etc.

- **Gisement.** Cette information permet de préciser les conditions de drainage des eaux de percolation. On indique en particulier le pendage des roches, la présence ou l'absence de lignes de moindre résistance, les diaclases et leur orientation. Ainsi, un schiste à gisement horizontal limite la circulation verticale des eaux tandis que des schistes redressés l'accélèrent.

- **Mode d'altération.** Il n'y a pas toujours de relations de cause à effet entre le type d'altération des roches observées et la pédogenèse actuelle. Ce fait est particulièrement fréquent en régions tropicales où de nombreux sols se développent sur d'anciens produits d'altération. Il est donc important de préciser à quel type d'altération les roches ont été soumises : arénisation, argilisation, ferrallitisation, etc. On indique également les matériaux qui ont échappé à cette altération : minéraux ou débris de roches.

- **Remaniements, contaminations.** L'observation du matériau originel fait fréquemment apparaître des remaniements, un triage des matériaux, des apports d'éléments étrangers qui rendent compte des différents mécanismes qui ont présidé à la mise en place. Ces données correspondent soit à des enrichissements relatifs de produits résiduels par entraînement d'autres matériaux, soit à la présence d'éléments étrangers (débris de roches voisines, cendres volcaniques, de poteries, charbon de bois, etc.).

3.1.4. Géomorphologie.

Le modelé est souvent en relation avec le type de sol. Il y a souvent des relations très étroites entre les types de sol et leur position dans le modelé. Les données à fournir sont les suivantes :

- **Forme du modelé :** par exemple collines, modelé monoclin, plateau, dépression, etc.

Ainsi les cuirasses ferrugineuses se mettent généralement en place sur les surfaces subhorizontales, les sols ferrallitiques sont associés à des collines ; les vertisols s'individualisent le plus souvent en bordure de dépressions.

- **Position dans le modelé :** en région forestière, les sols en sommet de pente sont généralement rouges ; ils sont jaunes le long des pentes, pour devenir gris en bas de pente.

- **Situation relative de la forme du modelé au lieu de l'observation :** cette donnée permet d'interpréter parfois la pédogenèse des sols qui s'étagent sur les différentes formes du modelé et qui peuvent être d'âge différent.

Par exemple, en Haute-Volta sur les plateaux, on observe des sols à cuirasse ferrallitique très anciens ; sur les glacis, des sols ferrugineux tropicaux actuels. Souvent même, cette position relative permet d'expliquer le développement de certains types de sols. Ainsi, les vertisols observés en bordure des cuvettes des régions Ouest de Haute-Volta doivent leur origine à la concentration du calcium et magnésium qui drainent des reliefs plus élevés.

● **Evolution actuelle du modelé** : cette caractérisation est à relier aux processus d'érosion. S'il s'agit d'un modelé jeune ou rajeuni pour des causes diverses (disparition d'un seuil, déboisement, etc.), il y aura tendance au décapage des horizons du sol. S'il s'agit d'une forme sénile, il peut y avoir tendance au remblaiement. On indique également si les causes de ces mécanismes sont à rattacher à des influences géographiques générales ou à des causes locales, comme celle de l'homme.

3.1.5. Relief et Pentés.

1. — On distingue le relief général du **microrelief** de la surface du sol. La forme d'un paysage se caractérise par l'allure générale du relief.

On peut reconnaître 4 classes de paysages :

- accidenté : région constituée d'un ensemble de collines à surfaces subhorizontales réduites et à pentes supérieures à 25 % ;
- ondulé : région constituée par un ensemble de collines à surfaces horizontales réduites et à dominance de pentes de 8 à 25 % ;
- largement ondulé : ensemble de collines ou de plateaux à grandes surfaces subhorizontales, coupées par des pentes qui varient généralement de 8 à 25 % ;
- plan : paysage constitué par des unités horizontales et subhorizontales dont les pentes ne dépassent pas 8 %.

Il est également possible de classer le relief par rapport aux possibilités d'écoulement des eaux superficielles.

- nul ou concave : surfaces à drainage superficiel très lent ou nul ;
- subnormal : surfaces plus ou moins planes à drainage superficiel lent ;
- normal : surfaces ondulées à drainage superficiel moyen.
- excessif : surfaces accidentées à drainage superficiel rapide.

Le **microrelief** concerne les variations de formes que l'on observe à la surface du sol. Il peut s'agir de microreliefs naturels ou artificiels. On note alors :

- les dimensions du microrelief : longueur d'ondes et amplitudes ;
- le réseau des fentes de retrait, caractérisé par la forme et la taille du réseau principal ; l'ouverture des fentes, l'aspect des bords de fentes ; le caractère d'un réseau secondaire éventuel et son recoupement avec le réseau principal ;
- les effondrements dont on précisera la forme, la taille, la profondeur, les bordures, la situation dans le microrelief, l'alignement, l'orientation ;
- les microreliefs naturels : gilgai = succession de petites buttes et de petites zones déprimées dues à des mécanismes de gonflement et de rétraction de certaines argiles sous l'action alternante de l'humidité et de la dessiccation ; tortillons de vers de terre formant des petites buttes aux pieds des touffes de graminées ; griffes d'érosion ; termitières diverses ; fentes de retrait ; bombements et buttes liées à la végétation ;
- les microreliefs artificiels : puits à parois non consolidées, partiellement effondrées ; anciens fossés de drainage ou d'irrigation ; levées artificielles ; déblais ; tumuli, etc.

2. — La **pente** induit la circulation des eaux sur et à l'intérieur des profils. Cette donnée est donc importante. Les indications doivent porter sur :

- la pente elle-même en degrés ou en % en signalant s'il s'agit d'une pente simple ou d'une pente complexe et alors en donner les différents éléments ;
- sa longueur ; s'il y a ruissellement, les phénomènes d'érosion apparaissent après une certaine longueur de pente ;
- son exposition ; les pentes à l'Ouest sont souvent plus arrosées que celles à l'Est ;
- la forme : plane, convexe, concave. La connaissance de ces éléments oriente les types

d'aménagements et de protection contre le ruissellement. Si la pente est convexe, il sera facile d'évacuer les surplus d'eau. Il n'en sera pas de même pour une pente concave. Il faut alors étudier le module de canaux en conséquence.

3.1.6. Drainage.

Le drainage du sol se réfère à la manière dont les excès d'eau sont évacués à la fois à la surface des sols et au sein des profils. On distingue généralement le drainage externe, qui exprime la façon selon laquelle l'eau est évacuée en surface, du drainage interne qui caractérise les possibilités de percolation de l'eau à travers le profil. On peut également apprécier la perméabilité des différents horizons par des mesures sur le terrain, et de la synthèse des données précédentes déduire des classes de drainage.

Le drainage externe fait seul appel aux données d'observation directes. Il est sous la dépendance à la fois de la pente et de la porosité du sol, c'est à partir de ces données que l'on définit les six classes de drainage suivantes :

1. **Nul.** L'eau accumulée en surface ne s'évacue par pas ruissellement. Il y a stagnation dans ou sur le sol. L'infiltration est très réduite. L'eau ne s'évacue que par évaporation.

2. **Très lent.** L'eau stagne en majeure partie à la surface du sol. Il n'y a pas de ruissellement. L'évacuation se fait en partie par pénétration lente dans le sol et en partie par évaporation.

3. **Lent.** Le ruissellement est faible mais sensible. L'eau accumulée en surface s'évacue lentement. Elle se maintient un certain temps à la surface et pénètre en partie dans le sol.

4. **Moyen.** L'eau stagne peu en surface, elle s'évacue à la fois par ruissellement et par infiltration.

5. **Rapide.** L'eau de précipitation s'évacue en grande partie par ruissellement aussi rapidement qu'elle arrive à la surface du sol.

6. **Très rapide.** Toute l'eau accumulée s'évacue par ruissellement. L'infiltration est réduite ou nulle. Il en résulte une érosion plus ou moins sévère.

Naturellement, lorsque cela est possible, on indique l'état du drainage naturel et celui du drainage artificiel après l'assainissement.

3.1.7. Inondation.

Il peut y avoir inondation de la surface étudiée soit par suite d'une évacuation défectueuse des eaux accumulées, soit par suite d'un apport excessif d'eau par débordements d'une rivière ou ruissellement accéléré des zones amont. On distingue les sols :

1. Longuement inondés ; l'eau stagne pendant la majeure partie de l'année.

2. Périodiquement inondés ; l'inondation est limitée à quelques mois chaque année.

3. Parfois inondés ; l'inondation n'a lieu qu'en années humides.

4. Exceptionnellement inondés ; l'inondation ne se réalise qu'en années exceptionnelles par débordement ou rupture de digues.

5. Jamais inondés ; à l'abri de toute accumulation d'eau en surface.

3.1.8. Présence de pierres.

Par pierres, on entend les matériaux dont le diamètre moyen est supérieur à 20 cm et qui ne sont pas ancrées profondément dans le sol. Ces accidents doivent être obligatoirement notés ; ne pas les mentionner rend les cartes pédologiques inexplicables. On exprime la présence de pierres en indiquant le pourcentage de surface couvert par ces matériaux. Les différentes classes sont définies en tenant compte des incidences pratiques sur l'emploi des machines agricoles. Ces classes sont les suivantes :

1. Pas de pierres ou trop peu de pierres pour gêner les pratiques culturales. Elles couvrent moins de 0,1 % de la surface totale.

2. Suffisamment de pierres pour gêner, mais non pour rendre impossibles les pratiques culturales. Les pierres sont dispersées à la surface du sol à des distances variant de 10 à 30 mètres, et occupent 0,1 à 1 % de la superficie totale.

3. Suffisamment de pierres pour rendre impossible les cultures. Néanmoins, le sol peut être exploité en prairie de fauche ou en pâturage amélioré, si les autres caractéristiques du sol le permettent.

4. Suffisamment de pierres pour rendre impossible toute utilisation de machines à l'exception de machines très légères ou des instruments à main. Pâtures naturelles ou forêts, si les conditions du sol le permettent.

5. Suffisamment de pierres pour rendre impossible toute utilisation de machines : vaines pâtures, forêts.

6. Plus de 90 % de la surface est recouvert de cailloux : aucune utilisation agricole possible.

Ces différentes classes peuvent être également utilisées pour les sols couverts de cailloux, ces derniers ayant un diamètre variant de 5 à 20 cm. Les conséquences pour les façons culturales sont moins prononcées.

3.1.9. Présence de roches.

Le terme « roche » est utilisé arbitrairement pour désigner les formations indurées affleurantes, profondément ancrées dans le sol. Six classes sont définies en tenant compte de la surface couverte et de la distance séparant ces matériaux qui règle les possibilités d'intervention des instruments mécaniques :

1. Pas de roche : moins de 2 % de la surface est recouvert par les roches.

2. Peu de roches : 2 à 5 % de la surface est occupé par des roches distantes en moyenne de 35 à 100 mètres.

3. Assez peu de roches : 2 à 10 % de la surface est occupé par des affleurements distants en moyenne de 10 à 35 mètres.

4. Moyennement rocheux : les roches couvrent 10 à 50 % de la surface totale. Elles sont distantes en moyenne de 3,5 à 10 mètres.

5. Beaucoup de roches : la superficie couverte par les roches distantes de moins de 3,5 mètres est de 50 à 90 % de la surface.

6. Rocheux : plus de 90 % de la surface est couvert par des roches.

Lorsque les sols sont à la fois pierreux et rocheux, il faut indiquer séparément les deux classes.

3.1.10. Erosion.

Les marques de l'érosion sur le sol sont décrites en détail car elles permettent de préciser les types d'aménagement compatibles avec l'équilibre du milieu. On distingue les deux types classiques d'érosion : par le vent et par l'eau. On indique s'il y a décapage ou apports et on signale les formes et les horizons atteints, la superficie couverte.

3.1.11. Erosion éolienne.

- **Déflation.** Il s'agit de l'enlèvement par le vent des matériaux fins superficiels. On signale l'épaisseur des horizons atteints, la présence éventuelle de matériaux résiduels (cailloux, sables grossiers) ; s'il y a rabotage, la forme des stries à la surface du sol.

- **Accumulation.** On indique la nature des matériaux accumulés, leur épaisseur ; les relations entre les zones d'accumulation et certains facteurs du milieu (accumulation au pied des buissons par exemple) ; la forme des accumulations (barkhanes, ensablement diffus, dunes diverses).

3.1.12. Erosion hydrique.

- **Décapage.** Comme pour l'érosion éolienne, on signale l'épaisseur des tranches de sol entraînées au loin, les différents horizons atteints.

- **Accumulation.** On fournit les mêmes données que pour l'érosion éolienne ; épaisseur, nature des matériaux accumulés, superficie, mode et répartition du recouvrement.

Une attention particulière doit être portée **aux formes de l'érosion**, les 7 suivantes ont été reconnues :

- **Par battement** (splash en anglais). La goutte d'eau qui frappe le sol fait éclater les agrégats. Les constituants les plus fins sont projetés parfois à plusieurs dizaines de cm, leur gangue terreuse reste sur place. On a ainsi un tri des différents éléments texturaux du sol qui donne à la surface de ce dernier un aspect battant, de forme souvent réticulée, très caractéristique.

- **En nappe.** Une mince tranche de sol se trouve décapée sur une grande surface. Ce mécanisme donne également un aspect superficiel réticulé.

- **En nappe ravinante.** Des tranches de sol de plusieurs centimètres d'épaisseur sont entraînées en masse, avec formation de petits « à pic » en amont et sur le côté. Il en résulte la formation d'un microrelief « en escaliers ».

- **En rigoles.** De petites rigoles que l'on nomme souvent aussi griffes d'érosion, sont creusées par l'eau dans le sol. Leurs dimensions en largeur et profondeur varient de quelques centimètres à quelques dizaines de mètres.

- **En ravins.** Il s'agit d'une forme accusée de la précédente. Les ravins ont plusieurs mètres de profondeur, certains atteignent plusieurs dizaines de mètres. (Généralement, pour définir les limites de dimension entre les rigoles et les ravins, on s'appuie sur la possibilité ou l'impossibilité de les traverser à l'aide du matériel agricole tracté).

- **Par mouvements de masse.** Dans ce type d'érosion, toute une masse de sol sur une grande épaisseur, se décroche et glisse le long de la pente. Une forme particulière de l'érosion par mouvements de masse est l'érosion en « lavaka » (1), caractéristique des Hauts Plateaux Malgaches.

- **Par chenaux souterrains.** L'eau de ruissellement qui s'engouffre en profondeur par le canal d'une fente de retrait creuse des chenaux souterrains à l'intérieur du sol. Il en résulte des effondrements discontinus caractéristiques.

En plus des formes de l'érosion, on indique les dimensions des griffes (largeur, longueur, épaisseur) ; le pourcentage de surface érodée, les relations avec certains facteurs (déboisement, construction de route, travail du sol, etc.).

3.2. - Description des profils.

Le sol se définit tout d'abord par son profil qui se caractérise par une **morphologie** qu'il faut décrire. Cette description contribue à l'identification du sol qui doit être analytique et complète. L'énumération des caractéristiques de la morphologie montre qu'il s'agit là d'une opération longue et complexe qui demande beaucoup de temps, même pour un pédologue entraîné. Il est donc pratiquement impossible d'effectuer ce travail sur tous les profils. On limite l'observation exhaustive à ceux qui sont considérés comme représentatifs des unités cartographiées. L'étude de leur extension se fait à l'aide d'observations plus rapides à la sonde.

La première opération consiste à reconnaître les différents horizons constituant le profil, à préciser comment s'effectue le passage d'un horizon à l'autre, à **décrire successivement** chaque horizon en commençant par l'horizon supérieur.

(1) Lavaka : mot malgache signifiant excavation.

Pour reconnaître les horizons, on s'appuie sur plusieurs critères : la couleur, la teneur en matière organique, la texture, la structure, la présence éventuelle de certaines caractéristiques (teneurs en carbonates de calcium, en sesquioxydes, en sels divers, etc.).

3.2.1. Epaisseur et limites des horizons.

On note l'épaisseur des horizons en indiquant en centimètres de haut en bas la profondeur des différentes limites.

La limite supérieure est la surface du sol minéral. L'épaisseur des différents dépôts organiques superficiels (litière) est notée de bas en haut à partir de la surface du sol minéral.

Les **limites** entre les horizons diffèrent en netteté et régularité. La distinction dépend partiellement du contraste entre les horizons et partiellement aussi de la netteté de la limite ou de l'importance de la transition entre un horizon et le suivant :

• **Netteté.** Cette donnée s'appuie sur la largeur de la transition. On définit les classes suivantes :

- passage brutal : la transition est inférieure à 2 cm ;
- passage distinct : la transition a de 2 cm à 5 cm ;
- passage graduel : la transition se situe entre 5 et 15 cm ;
- passage progressif (ou diffus) : la transition est supérieure à 15 cm.

• **Régularité.** Cette donnée concerne la forme de la transition. Elle peut être :

- régulière : la limite est pratiquement parallèle à la surface du sol ;
- ondulée : la limite constitue des poches jointives dont la largeur est supérieure à la profondeur ;
- irrégulière : la limite constitue des poches jointives, dont la profondeur est supérieure à la largeur ;
- discontinue : il s'agit de parties d'horizons non jointives.

3.2.2. Couleur.

La couleur des horizons peut être uniforme ou bariolée. S'il y a bariolage, on observe des taches plus ou moins distinctes de formes diverses. On décrit le bariolage en indiquant la couleur de fond et la ou les couleurs des taches principales, puis on décrit le dessin des taches. La couleur est déterminée d'après un code (cf. plus loin).

Le dessin des taches est décrit par quatre ensembles de notation (contraste, nombre, dimensions, forme).

1. **Le contraste** peut être.

- vague : les taches ne sont reconnaissables que de fort près.
- distinct : les taches se distinguent facilement de la couleur de fond ;
- frappant : les taches sont nettement individualisées et se dégagent nettement de la couleur de fond.

Il peut arriver parfois que l'horizon ne soit qu'un mélange de taches.

2. **Le nombre** se détermine par appréciation grossière du pourcentage de surface verticale couverte par les taches. Cette opération peut être facilitée en comparant les faits à des modèles schématiques.

Il y a **peu de taches** lorsqu'elles occupent moins de 25 % de la surface. Les taches sont **assez nombreuses** lorsqu'elles couvrent 2 à 20 % de la superficie totale. Il y a **beaucoup** de taches lorsqu'elles couvrent plus de 20 % de la surface.

— Les **dimensions** se réfèrent au diamètre moyen des taches.

Elles sont **petites** lorsque le diamètre est inférieurs à 5 mm, **moyennes** lorsque le diamètre se situe entre 5 et 15 mm, **grosses** lorsqu'elles ont plus de 15 mm de diamètre.

— La forme des **taches** peut être diverse. On peut observer des taches circulaires, des marbrures, des stries, des langues. Ces différents dessins peuvent être discontinus ; ils sont parfois jointifs et forment alors une trame.

Détermination des couleurs.

Les couleurs sont déterminées en se référant à un code de couleur. L'appréciation directe est à déconseiller car la précision varie avec chaque individu et les termes employés sont trop subjectifs. Le code de couleurs « Munsell Soil Color Chart » est utilisé par la majorité des pédologues dans le monde.

Le « Munsell Soil Color Chart » comprend normalement 175 cartons colorés ou « chips ». Ces cartons sont groupés systématiquement d'après leur notation « Munsell » sur des planches assemblées dans un carnet à feuilles mobiles. Les notations consistent en l'arrangement par gamme (« hue »), valeur (« value ») intensité (« chroma »).

- La **gamme** est la couleur spectrale dominante. Elle a rapport à la longueur d'onde dominante de la lumière. Toutes les couleurs d'une même planche ont la même gamme indiquée par un symbole dans le coin supérieur droit. Le symbole pour la gamme est représenté par l'initiale majuscule de la couleur (en anglais) :

R	pour rouge	} précédé d'un nombre de 0 à 10
YR	pour jaune-rouge (orange)	
Y	pour jaune	
et N	pour neutre	

- La **valeur** se rapporte à la luminosité relative de la couleur. Elle est fonction (approximativement de la racine carrée) de la quantité totale de lumière. Il s'agit en fait de l'addition de différents types de gris à la gamme.

Les symboles de la valeur sont représentés par des chiffres arabes, à gauche de la planche en face de chaque rang de cartons. Verticalement et de bas en haut, les couleurs deviennent successivement plus claires par bonds visuellement égaux. Leur valeur augmente. La notation s'étend de 0 pour le noir absolu, à 10 pour le blanc. Une valeur 6 est légèrement moins foncée, 60 % de la distance de noir à blanc et à une distance égale entre 5 et 7 par exemple.

- L'**intensité** (parfois appelée aussi « saturation ») est la pureté relative ou la force, de la couleur spectrale. Elle augmente de gauche à droite avec une tonalité grise décroissante. La notation de l'intensité apparaît horizontalement en bas de la planche sous chaque colonne de cartons. Elle est symbolisée par des chiffres arabe de 0 à 8.

L'ordre à respecter dans la notation est : gamme, valeur, intensité. Les chiffres de la valeur et de l'intensité sont séparés par une barre oblique, par exemple : 2,5 YR 4/6 = rouge.

Lorsque l'on note les couleurs, il est indispensable d'indiquer les observations faites à l'état sec et à l'état humide. En effet, la couleur change avec la teneur en eau. Ce phénomène est très frappant pour certains types de sols. Il peut parfois être caractéristique du type de sol. Ainsi, les sols ferrugineux tropicaux lessivés présentent des différences de 2 à 3 unités en valeur et intensité entre l'état sec et l'état humide.

3.2.3. Matière organique et calcaire.

Sous cette rubrique est décrit tout ce qui a trait à l'influence de la matière organique sur les différents horizons (aussi bien la litière que les horizons assombrés par la matière organique) ainsi qu'à celle du calcaire.

A. On signale tout d'abord si l'**horizon est enrichi en matière organique ou non** et on cherche à préciser grossièrement cet enrichissement. Les horizons sont classés suivant leurs teneurs en matière organique et on essaie de préciser le type d'humus.

Horizon organique : Un tel horizon contient plus de 20 % de matière organique s'il est sableux, et plus de 30 % s'il est argileux. La morphologie est dominée par les matériaux organiques qui se reconnaissent facilement par leur aspect fibreux.

Horizon moyennement organique : Les horizons contiennent de 6-8 à 20-30 % de matière organique. Ils sont fortement assombris. Il est difficile de reconnaître la matière organique du complexe minéral.

Horizon faiblement organique : 2 à 6 % de matière organique. Au-dessous de cette teneur on ne qualifie pas les horizons d'organiques.

On précise ensuite l'état de décomposition de la matière organique en reconnaissant l'**état de dégradation** des débris organiques ; s'ils sont encore reconnaissables ou non. Un bon test consiste à sentir un échantillon. Une odeur butyrique signale une mauvaise décomposition en milieu anaérobie. Une odeur de champignon signale généralement une bonne décomposition en milieu aéré.

On indique enfin le **degré d'association** des matériaux organiques et minéraux. En effet, les éléments organiques et minéraux peuvent être grossièrement séparés ou au contraire intimement associés. Des revêtements organiques peuvent recouvrir les agrégats.

N.B. — Dans la recherche de ces caractéristiques, il faut se méfier de la couleur. Un assombrissement du profil n'est pas forcément lié à une augmentation des teneurs en matière organique. Certains sels ferreux, le manganèse noircissent les horizons. On se limite donc aux caractéristiques nettement définies et reconnaissables.

B. — Teneurs en calcaire.

Le carbonate de calcium a une profonde influence sur la morphologie des profils. En particulier, il oriente l'évolution de la matière organique ; il freine le lessivage de l'argile. Il est donc important de signaler la présence ou l'absence de ce matériau.

On a une idée de la teneur en CO_3Ca en projetant sur le profil à l'aide d'une pissette de l'acide chlorhydrique au 1/2 et l'on observe s'il y a effervescence ou non. On se rappelle qu'un sable calcaire réagit plus vigoureusement qu'une marne au teneurs en carbonate comparable.

On distingue les classes suivantes :

- Non calcaire : aucune effervescence.
- Peu calcaire : très faible effervescence, juste visible, mais étant nettement perceptible à l'oreille.
- Calcaire : effervescence visible.
- Très calcaire : forte effervescence. Le calcaire se reconnaît généralement « de visu ».

Il est possible avec un peu d'entraînement et pour une région donnée, d'apprécier la charge en calcaire avec plus de détail. On indique ensuite la localisation du carbonate, son abondance et si besoin est, la forme et la taille des accumulations : en poudre, en pseudomycélium, en concrétions, en poupées, en nodules.

3.2.4. Texture.

La texture rend compte de la composition granulométrique de l'horizon considéré. Elle s'exprime par la teneur relative de différentes fractions granulométriques dont le diamètre moyen est inférieur à 2 mm. La présence de particules dont la taille est supérieure à 2 mm (graviers, cailloux, pierres) est signalée en ajoutant un adjectif aux noms des classes de texture.

La distinction entre les fractions granulométriques est plus ou moins arbitraire. Les fractions sont définies dans différents systèmes :

— Le système international d'Atterberg comprenant :

argile		< 0,002 mm
limon	0,002 à	0,02 mm
sable fin	0,02 à	0,2 mm
sable grossier	0,2 à	2 mm

— Le système U. S. D. A. comprenant :

argile		< 0,002 mm
limon	0,002 à	0,05 mm
sable très fin	0,05 à	0,10 mm
sable fin	0,10 à	0,25 mm
sable moyen	0,25 à	0,5 mm
sable grossier	0,5 à	1,0 mm
sable très gros	1,0 à	2,0 mm

En fait, pour les sols tropicaux, les divisions généralement utilisées sont les suivantes :

argile		< 0,002 mm
limon fin	0,002 à	0,02 mm
limon grossier	0,02 à	0,05 mm
sable fin	0,05 à	0,20 mm
sable grossier	0,20 à	2,0 mm

Les résultats précis des analyses granulométriques sont obtenus au laboratoire.

• **La détermination de classes** de textures se fait en nommant en premier la fraction granulométrique dominante et en second la fraction granulométrique qui lui succède en pourcentage.

Ainsi, le terme « sablo-argileuse » signale une texture à dominance sableuse et à teneur en argile appréciable.

• **La définition des classes** est déduite d'une représentation triangulaire. Sur chaque côté d'un triangle équilatéral sont portées les teneurs en sable, limon et argile de 0 à 100 (cf. figures 19 et 20).

Le triangle des textures a été divisé en un certain nombre de secteurs qui correspondent à un certain nombre de zones de textures. Plusieurs triangles sont proposés, ce qui prouve qu'il n'est pas nécessaire de rechercher des définitions parfaites, les limites restant arbitraires.

Lorsque les teneurs en matière organique sont élevées (plus de 10 %), on ajoute des termes adjectifs précisant cette donnée.

Exemple : argile humifère, sable limono-humifère.

Il est peut-être intéressant d'ajouter des termes plus spécifiques comme « tourbe », « tourbeux ». De même, des teneurs élevées en carbonate de calcium (plus de 10 %) amènent à l'emploi du mot : calcaire.

Exemple : sable calcaire ; limon calcaire.

Éléments grossiers.

Les différents horizons des sols ne sont pas toujours composés uniquement de fractions granulométriques inférieures à 2 mm. Ils contiennent parfois des éléments plus grossiers en proportion appréciable. Pour indiquer ce fait, on ajoute au nom de la classe texturale un adjectif approprié. Cet adjectif est choisi en fonction du **pourcentage et de la dimension moyenne** de ces matériaux.

Dénomination employée pour les fragments grossiers du sol :

Tableau 1

DENOMINATION DES ELEMENTS GROSSIERS EN FONCTION DE LEUR TAILLE ET DE LEUR POURCENTAGE
ON CONSIDERE QUE LE SOL EST UTILISABLE JUSQU'A UN POURCENTAGE D'ELEMENTS GROSSIERS DE 90 %

% éléments grossiers	dimensions dominantes Ø 0,2 à 5 cm	Ø 5 à 20 cm	Ø > 20 cm
2-15	peu graveleux	peu caillouteux	peu pierreux
15-50	graveleux	caillouteux	pierreux
50-90	très graveleux	très caillouteux	très pierreux
> 90	graviers	cailloux	pierres

Nature des éléments grossiers.

Les éléments grossiers influencent la dynamique des sols non seulement par leur nombre et leur taille, mais également par leur composition et leur forme. Comme ces matériaux sont facilement observables, on peut faire des distinctions détaillées. Mais d'une façon générale, on ne retiendra que les données qui peuvent avoir une influence effective sur le sol, et principalement : sur l'infiltration et l'écoulement des eaux de percolation, sur le développement et la croissance des racines, sur la protection des particules fines qui peuvent être entraînées par érosion, etc. Concernant la nature des roches, on emploie des dénominations lithologiques (grès, calcaire, psammite, schiste, quartzite, etc.) ou pédologiques (gravillons ferrugineux, nodules, calcaires, etc.).

La forme, et en relation avec celle-ci l'orientation de ces matériaux grossiers, doivent être signalées, les fragments pouvant être arrondis, anguleux (dangers de blessures sur les racines), phylliteux. Dans ce dernier cas, si les fragments plats sont parallèles à la surface du sol, ils peuvent freiner l'écoulement de l'eau ou la pénétrations des racines.

Il est donc possible de substituer à la combinaison pourcentage-dimension, la combinaison pourcentage-nature. Par exemple, une argile à silex est une argile accompagnée de 15 à 80 % de silex.

3.2.5. Structure.

La structure du sol exprime le mode d'assemblage des particules élémentaires du sol en particules composées. Il semble acquis que la structure n'est pas liée uniquement à la notion d'agrégats, mais d'une façon générale correspond à la manière dont les éléments constitutifs du sol sont arrangés les uns par rapport aux autres. Ces assemblages peuvent être constitués par des **éléments simples** ou particuliers, c'est-à-dire les éléments mêmes de la texture ; des **agrégats** ou particules composées naturelles.

Ces assemblages naturels ne doivent pas être confondus avec : les **mottes** dues à des causes artificielles (labour par exemple) ; les **fragments** causés par la rupture de la motte ; les **concrétions**, nodules, cuirasses, accidents divers, dans lesquels les éléments simples sont cimentés d'une façon irréversible.

Un **agrégat** (ped en anglais) est un solide géométrique naturel qui conserve une forme individuelle spécifique (déterminée lorsqu'on le manipule). Constitué par des éléments de terre fine et éventuellement par des éléments grossiers liés entre eux par des ciments colloïdaux ou des forces de cohésion variées qui peuvent être plus ou moins réversibles. Chaque agrégat est séparé des agrégats voisins par des surfaces de moindre résistance. Les surfaces extérieures de certains agrégats portent parfois des revêtements minces de couleurs différentes qui aident éventuellement à les séparer. D'autres surfaces ont la même couleur que celle de l'intérieur des agrégats.

La description de la structure fait appel à trois données : le type de structure qui concerne la forme et l'arrangement des agrégats ; la classe de structure qui se réfère à la dimension des agrégats ; le degré de développement de la structure qui a trait à une évolution plus ou moins marquée de l'agrégation.

On évite ainsi les termes imagés, des néologismes pour définir rapidement et synthétiquement des structures particulières et retenir une terminologie analytique simplifiée.

Types de structure.

a) Structures naturelles. On distingue trois catégories de types de structures naturelles : les structures particulières, les structures massives ou continues, les structures fragmentaires.

Structures particulières.

Dans cette catégorie de structures, le sol est formé par les éléments du squelette textural non associés entre eux, c'est-à-dire n'ayant pas de cohésion. Les particules peuvent être :

— **Simplement minérales.** La classification correspond alors à celle de la texture. Une mention spécifique doit être faite pour les structures particulières à éléments très fins, difficilement discernables à l'œil, constituées généralement de limons et d'argile que l'on désigne sous le nom de **poudres**. Ces poudres peuvent être plus ou moins fines et présenter des aspects variés. On reconnaît ainsi :

— **une structure poudreuse** caractéristique de certains sols halomorphes (en fait, il s'agit d'une structure pseudo-particulaire à microagrégats argileux) ;

— **une structure cendreuse** caractéristique de l'horizon A₂ des podzols, constituée par l'enchevêtrement de fins cristaux de quartz ;

— **une structure farineuse** (fluffy en anglais) caractéristique de certains horizons des sols ocre-podzoliques ;

— **ou organiques.**

Lorsqu'il s'agit d'éléments particuliers organiques, la classification repose sur la forme de ces éléments. On a : une structure fibreuse lorsqu'il y a enchevêtrement des racines, une structure feuilletée lorsqu'il y a orientation de fibres qui forment une série de couches superposées.

Structures massives ou continues.

Dans cette catégorie de structures, l'horizon forme un bloc unique qui se définit par l'impossibilité de séparer les éléments structuraux entre eux. Il est alors intéressant de connaître comment les blocs se brisent et quelle est la forme de leurs éclats.

Lorsque la pâte ne présente pas de constituants différenciés à l'œil, on a une structure **fondue**. Lorsque la pâte contient des éléments reconnaissables, on distingue différents types de structures d'après la dimension moyenne des constituants et l'on a : des structures **grèseuses** : les éléments de type sableux sont liés par un ciment. Des structures **poudingiformes et conglomératiques** : les éléments de la taille « gravier » ou supérieurs sont noyés dans un ciment fin.

Il est parfois difficile de distinguer la structure fondue de la structure finement particulaire lorsque la cohésion entre les éléments est très faible. Pratiquement, on essaie de rompre un fragment d'élément structural entre les doigts. S'il s'écrase en même temps qu'il se rompt, on classe la structure comme particulaire légèrement cohérente (ou fondue). A l'opposé, si l'élément structural massif se casse avec facilité, on le classe d'après sa plus ou moins grande fragilité.

Structures à éléments fragmentaires.

Cette catégorie de structure est la plus fréquente. Les éléments fragmentaires de la structure sont classés d'abord d'après leur forme, puis d'après l'orientation des solides géométriques reconnus.

On distingue trois séries de formes fondamentales : des formes anguleuses, des formes arrondies, des formes intermédiaires.

• Formes anguleuses :

Elles se caractérisent par la présence de faces planes et d'angles vifs. Généralement, les surfaces des polyèdres sont les empreintes de moules des surfaces des agrégats voisins + forme à angles droits :

— sans dimension préférentielle : **structure cubique** ;

— à une dimension préférentielle (verticale) : **structure prismatique** ;

— à deux dimensions préférentielles (dans le plan horizontal) : **structure en plaque** encore appelée **structure lamellaire** lorsque l'épaisseur est faible.

La structure en **colonne** ou **columnaire** est un cas particulier de la structure prismatique qui se caractérise par des prismes surmontés par des formes hémisphériques.

La structure **squameuse** est un cas particulier de la structure lamellaire lorsque les lamelles se recourbent légèrement sous l'action de la dessiccation.

+ formes à angles aigus structure **polyédrique** (ex tétraédrique).

- **Formes arrondies :**

Ces formes sont sphériques ou ellipsoïdales. Elles définissent deux aspects de la structure **grenue**. Les surfaces ne s'accordent pas ou très peu aux surfaces des agrégats voisins. Ces agrégats sont relativement peu poreux.

- **Formes intermédiaires :**

Ce sont aussi des formes irrégulières constituées par l'assemblage de formes simples :

+ assemblage de formes arrondies structures **grumeleuses**. Les surfaces des agrégats ne s'accordent pas, mais les agrégats sont poreux.

+ assemblage de formes planes et arrondies structures **polyédriques émoussées** souvent appelées structures **subangulaires** ou nuciformes

b) **Structures artificielles.**

A côté de ces formes structurales naturelles, existent des formes artificielles dues au travail de l'homme. Ces formes sont nombreuses. Elles peuvent cependant être ramenées à quelques types principaux dont la terminologie s'explique d'elle-même : structure motteuse, structure en rouleaux, structure à éclats.

Enfin, il doit être fait mention des **semelles de labour** et des semelles d'irrigation qui constituent des niveaux difficilement pénétrables aux racines, sans parler de certains accidents pédologiques tels que les « pans » dont il sera traité plus loin.

c) **Combinaison de plusieurs types de structures.**

Il est fréquent d'observer des mélanges d'éléments structuraux. On les nomme en indiquant les deux types extrêmes, par exemple **structure prismatique à cubique** exprimant le mélange de ces deux formes ; ou **structure prismatique à tendance cubique** signalant la présence de prismes peu développés en hauteur. Il faut donc obligatoirement faire ressortir l'impression générale dégagée par l'horizon. Par exemple, pour une terre constituée par des pierres et d'un peu de matériaux fins, on aura une **structure à éléments pierreux avec remplissage granulaire ou polyédrique**, ou s'il n'y a qu'une certaine quantité de pierres et une proportion beaucoup plus importante d'éléments fragmentaires, on dira **structure à éléments pierreux emballés dans une structure polyédrique ou structure polyédrique à éléments pierreux**.

Des éléments limoneux ou sableux peuvent se trouver entraînés dans les cavités ou les fissures. On indique également la présence de ces accidents en parlant d'**inclusion** ou de **remplissage**. Il arrive fréquemment, en particulier dans le cas de terres battantes que l'on observe des **poches limoneuses** englobées à l'intérieur des fragments. On indique la présence en précisant leur structure (souvent litée).

Il existe parfois dans certains horizons des éléments massifs discontinus, dont le caractère est d'être cimenté par des constituants relativement peu sensibles à l'eau (carbonates ou hydroxydes). Ce sont des concrétions qui remplissent le même rôle que les éléments grossiers et qui doivent être décrits comme tels (cf. paragraphe précédent).

d) **Surstructure et sous-structure.**

Les constituants de la structure ont parfois tendance à se regrouper pour redonner de nouveaux éléments structuraux ou, au contraire, à se diviser pour en donner de plus fins. On est alors amené à parler de surstructure ou de sous-structure.

La **surstructure** est en général l'ensemble des orientations, ou fissures, ou assemblages réguliers que l'on peut distinguer à l'œil autour de l'élément structural principal. La **sous-structure** est une subdivision de l'élément structural principal. Par exemple, une structure prismatique peut avoir une sous-structure à éléments cubiques ou en plaques. Cette subdivision n'apparaît pas d'emblée mais peut s'obtenir à la main avec un léger effort. Inversement, des éléments structuraux nucifor-

mes peuvent être englobés dans un système de fissures d'allure prismatique qui est une surstructure.

Les éléments de la surstructure pris comme base de la description sont ceux qui permettent de décrire l'état global de l'horizon. Les autres n'apparaissent que lors de l'examen ultérieur plus fin. De toutes façons, il est indispensable de suivre un ordre logique et constant en donnant d'abord une définition fondamentale de la structure avant de préciser les différentes sur ou sous-structures, les orientations, inclusions ou accidents divers.

e) Assemblage des éléments structuraux.

La disposition des éléments structuraux peut conférer un certain aspect du profil, qu'il importe de préciser lorsqu'il n'est plus inclus dans la définition fondamentale. Par exemple, on ne souligne pas les fissures verticales d'une structure prismatique, ou les fissures horizontales d'une structure en plaque. Par contre, on parle de **litage** dans le cas d'assemblages parallèles coupés par de petites discontinuités ; de stratification lorsqu'il y a superposition de couches de textures différentes.

On doit tenir compte également de l'existence d'accidents se manifester sans donner lieu à des formes régulières. On observe des fentes, des canaux, des alvéoles suivant que les fissures s'élargissent, qu'il s'agisse de tubes ou de cavités fermées. Quand ces cavités sont petites et fréquentes, on obtient une structure assez typique appelée parfois **structure en mie de pain**. La forme et la fréquence de ces accidents seront notées.

Classes de structures.

Les classes de structures se réfèrent aux dimensions des unités structurales. Il s'agit naturellement de dimensions moyennes. Les dimensions des différentes classes varient souvent suivant le type de structure. Par exemple, les dimensions d'une structure polyédrique fine correspondent à celles d'une structure grumeleuse grossière. On distingue cinq classes par type de structure.

Tableau 2

CLASSES DE STRUCTURES ETABLIES EN TENANT COMPTE DES DIMENSIONS ET DES TYPES DE STRUCTURE
(dimension en mm)

Classe de structure	Très fine	Fine	Moyenne	Grossière	Très grossière
En plaque	< 1	1-2	2-5	5-10	> 10
Prismatique	< 10	10-20	20-50	50-100	> 100
Polyédrique	< 5	5-10	10-20	20-50	> 50
Polyédrique émoussé	< 5	5-10	10-20	20-50	> 50
Grumeleux	< 1	1-2	2-5	5-10	> 110
Grenue	< 1	1-2	2-5		

Degré de développement de la structure.

Le degré de développement de la structure exprime la différence entre la cohésion à l'intérieur des agrégats et l'adhésion des agrégats entre eux. Cette mesure varie avec l'humidité du sol. Elle devrait donc être faite aux humidités normales du sol étudié. D'une façon générale, c'est sur échantillons secs ou faiblement humides que la structure est la plus prononcée. Afin de préciser cette mesure, il convient donc d'indiquer grossièrement l'état d'humidité de l'horizon considéré. Sur le terrain, pour estimer le degré de développement de la structure, on ébranle l'échantillon étudié doucement entre les doigts de façon à isoler les agrégats les uns des autres. Une partie du matériau reste agrégé en polyèdres caractéristiques, une autre s'effrite en poussière et l'on compare les proportions relatives de ces deux fractions.

On distingue quatre degrés définis comme suit :

- **pas d'unité** structurale visible : il n'y a pas d'agrégation observable ; la structure est massive à l'état cohérent, sinon elle est particulière ;

- **faiblement** structuré : les unités structurales sont mal formées, difficilement perceptibles. L'échantillon se divise en peu d'agrégats entiers, mêlés à de nombreux agrégats brisés et beaucoup de matériaux meubles.
- **moyennement** structuré : les unités structurales sont bien définies et distinctes sur l'échantillon mais assez difficilement perceptibles sur le profil. Les échantillons se décomposent en de nombreux agrégats entiers. Il y a peu d'unités structurales incomplètes et peu de matériaux meubles.
- **fortement** structuré : les unités structurales sont extrêmement stables et distinctes. Elles adhèrent plus ou moins les unes aux autres. Elles s'observent parfaitement sur le profil en place. Les échantillons se débitent presque uniquement en agrégats entiers. Il n'y a pratiquement pas ou très peu d'unités brisées et de matériaux meubles.

3.2.6. Porosité.

Dans la porosité, il faut distinguer la **porosité vraie** qui est une porosité **diffuse** et qui est plutôt une caractéristique d'ordre quantitatif à déterminer au laboratoire et la description des **cavités** qui est une caractéristique autant qualitative que quantitative.

Sur le terrain, il s'agit d'apprécier l'abondance de pores visibles à l'œil nu soit sur une section de la masse de l'horizon dans le cas d'un horizon non structuré, soit sur une section des unités structurales. Il faut donc faire une distinction entre cette porosité à l'intérieur des agrégats et la porosité correspondant aux espaces qui séparent les unités structurales.

On pourrait donc parler de micro et de macroporosité en tenant compte pour celle-ci des fentes de retrait qui peuvent avoir une influence considérable sur le drainage du sol en début d'irrigation.

En ce qui concerne la porosité à l'intérieur des agrégats on peut employer les qualificatifs suivants, après observation à la loupe : compact, assez poreux, très poreux. Les cavités apparentes sont classées en : cavernes, fissures, alvéoles, tubes suivant leurs formes ou dimensions.

Les dimensions et les liaisons spécifiques sont précisées chaque fois que cela est possible. Par exemple, certains tubes peuvent être ferruginisés ; des fissures peuvent être associées à des phénomènes de réduction, etc.

Il faut également vérifier s'il y a communication entre les différentes cavités, ce qui facilite la circulation des eaux. Certains horizons paraissent très poreux mais sont en fait peu perméables car les cavités sont entièrement isolées et ne communiquent pas les unes avec les autres. On parle parfois de **porosité vésiculaire**.

En se rapportant uniquement à l'**aspect actuel** de la porosité globale, on distingue trois classes au niveau de chaque horizon :

- Très poreux : On observe nettement les interstices entre les particules. Lorsque le pied s'enfonce dans le sol celui-ci est souvent qualifié de **creux** ou de **soulevé**.
- Moyennement poreux : Les interstices entre les particules sont peu visibles. Les racines s'installent mais sont peu garnies de poils. Le pied s'enfonce difficilement dans le sol, qui est parfois dit **rassis**.
- Peu poreux ou compact : On ne distingue aucun interstice entre les particules. Les racines ne pénètrent pas ou mal. Le pied ne s'enfonce pas dans le sol qui est tassé.

L'étude de la porosité peut être complétée en précisant la perméabilité des différents horizons. En fait, la perméabilité du profil est déterminée par celle de l'horizon le moins perméable.

3.2.7. Consistance.

La consistance est le **comportement mécanique** du sol à l'égard d'une force. Sur le terrain, on se limite à ce qui peut être apprécié au doigt et à l'œil. La consistance comprend les caractéris-

tiques exprimées par le type et le degré de cohésion, d'adhésion ou par la résistance à la déformation ou à la rupture.

La consistance est sous la dépendance étroite de l'**humidité**. Elle est définie par les limites d'Atterberg. En pratique, sur le terrain les tests appliqués varient suivant les degrés d'humidité.

— Sec : A l'air l'humidité est inférieure au point de flétrissement. Les caractéristiques de l'horizon sont sa fragilité ou sa résistance à l'éclatement.

— Humide : L'humidité se situe entre le point de flétrissement et la capacité au champ. L'horizon est à l'état plastique, c'est-à-dire qu'il peut subir une déformation sans rupture.

— Trempé : L'humidité est supérieure à la capacité au champ. Le sol est à l'état pâteux ou pseudo-fluide. Il peut s'écouler sous son propre poids.

D'une façon générale, la détermination de la consistance s'effectue soit au niveau de l'horizon, soit au niveau des agrégats lorsque cela est possible.

1. Consistance à l'état sec.

A ce degré d'humidité, l'échantillon se caractérise par sa rigidité, sa fragilité. Il présente une résistance maximum à la pression ; une tendance plus ou moins grande à être écrasé en poudre ou en fragments à arêtes aiguës. Par pression, le matériau écrasé ne peut devenir à nouveau cohérent.

Pour estimer les différents degrés de cet état, on cherche à briser une certaine quantité de matériau sec entre les mains et à écraser les fragments entre les doigts.

On distingue les classes suivantes :

- meuble : non cohérent ;
- peu cohérent : le matériau est fragile. Il tombe en poudre ou en grains individuels sous faible pression.
- moyennement cohérent : l'échantillon est peu résistant à la pression, mais la résistance est sensible. Il peut facilement être brisé entre le pouce et l'index.
- dur : l'échantillon résiste à la pression. Il peut sans difficulté être brisé entre les mains, mais résiste à l'écrasement entre le pouce et l'index.

2. Consistance à l'état humide.

A ce degré d'humidité le sol montre une forme de consistance qui se caractérise par une tendance à se briser en fragments plus petits, une tendance à se déformer avant rupture, une absence de fragilité, une possibilité à devenir à nouveau cohérent par pression des fragments.

Comme la résistance à l'écrasement diminue avec le degré d'humidité, la valeur des tests est limitée par l'appréciation de cette humidité.

Pour estimer ces valeurs, on écrase et on serre dans la paume de la main et entre les doigts, une certaine quantité de terre légèrement humide. On reconnaît les classes suivantes :

- Très friable : Le matériau s'écrase facilement sous faible pression. Il n'offre pas de résistance sensible. Il redevient cohérent après une nouvelle pression.
- Friable : Le matériau s'écrase sous une légère pression nettement perceptible. Il redevient cohérent après une nouvelle pression.
- Ferme : Le matériau s'écrase sous une pression modérée. La résistance à l'écrasement est très sensible. Il ne devient plus cohérent après une nouvelle pression.
- Très ferme : Le matériau ne s'écrase que sous une forte pression et très difficilement entre le pouce et l'index.
- Extrêmement ferme : Le matériau résiste pratiquement à toute pression. Il faut le briser morceau par morceau.

3. Consistance à l'état trempé.

A cet état, on observe souvent des films d'eau à la surface des agrégats. Il peut être aussi possible de faire suinter l'eau en serrant fortement l'échantillon dans le creux de la main. Pour les plus fortes humidités, on apprécie l'**adhésivité** sinon on détermine le degré de **plasticité**.

Adhésivité.

Le test s'appuie sur la propriété du sol à adhérer à d'autres objets. Pour son évaluation sur le terrain, le matériau est pressé entre le pouce et l'index, puis en écartant les doigts on note le type d'adhérence. On détermine les classes suivantes :

- Non collant : Après pression, pratiquement aucun matériau n'adhère au pouce et à l'index.
- Peu collant : Après pression, le matériau adhère au pouce et à l'index, mais se détache de l'un d'eux lorsque l'on écarte les doigts, sans qu'il soit étiré d'une façon notable.
- Collant : Après pression, le matériau adhère au pouce et à l'index. Il a tendance à s'étirer un peu, puis à se rompre plutôt qu'à se détacher d'un des doigts lorsque l'on écarte ces derniers.
- Très collant : Après pression, le matériau adhère au pouce et à l'index, et s'étire fortement lorsqu'on écarte les doigts.

Plasticité.

La plasticité est la propriété d'un matériau qui consiste pour ce dernier à changer continuellement de forme sous l'influence d'une pression et de conserver cette forme après suppression de la pression. Pour déterminer la plasticité sur le terrain, on roule le matériau entre les doigts et l'on essaie de faire un pâton cylindrique de plus en plus fin.

On détermine les classes suivantes :

- Non plastique : On ne peut pas former de rouleau.
- Peu plastique : On peut former un rouleau et il est nécessaire d'appliquer une pression modérée pour déformer la masse.
- Très plastique : On peut former un rouleau et il faut appliquer une forte pression pour déformer la masse.

3.2.8. Cohésion.

La cohésion peut être appréciée au niveau de l'horizon ou au niveau des agrégats. Il faut distinguer entre la **cohésion réversible** et la **cohésion irréversible**. Dans le premier cas, la cohésion disparaît en tout ou en partie sous l'action de l'humidité, dans le second cas, le matériau reste cohérent même en milieu très humide. Il s'agit alors d'une cimentation.

1. Cohésion réversible.

Au niveau de l'horizon, cette propriété n'a pas de sens physique précis. Elle ne se définit que par un effort physique correspondant à une utilisation particulière qui varie suivant la nature de l'outil employé.

Le terme « meuble » se définit par l'absence de cohésion entre les éléments de petite taille. A sec, il y a formation d'un talus d'éboulement. Le terme « **meuble** » s'oppose à « **cohérent** ». On peut distinguer la **cohésion** vraie qui résulte de l'action de liaisons internes homogènes (pour sa détermination on est ramené aux tests de la consistance des sols à l'état sec) ; et la **pseudo-**

cohésion dont les effets similaires sont dus à des causes externes variées, non homogènes, par exemple : enchevêtrements d'éléments, frottement dû au poids d'éléments (instruments aratoires, glacier, etc) comme c'est le cas pour les semelles de labour et peut-être pour certaines formations particulières de sols comme les « fragipans ».

2. Cimentation.

La cimentation se réfère à une consistance dure et fragile, causée par un liant autre que les minéraux argileux (carbonates, silice, sesquioxides ec.). Elle implique que l'induration ne change pas ou peu avec l'humectation. La cimentation peut être homogène ou discontinue à l'intérieur d'un horizon. Suivant le cas, elle sera appréciée au niveau de l'horizon ou au niveau des éléments cimentés. On distingue les catégories suivantes :

- Peu cimenté : La masse est fragile et dure mais peut être brisée entre les mains.
- Cimenté : La masse se brise difficilement entre les mains. Elle se façonne facilement à l'aide d'un instrument tranchant (bêche, couteau).
- Fortement cimenté : La masse ne peut plus être brisée entre les mains. Elle se façonne difficilement à l'aide d'un instrument tranchant. Elle se brise sous le choc du marteau.
- Très cimenté : La masse se brise difficilement au marteau qui rebondit en choc. Le matériau résonne sous l'influence du coup.

3.2.9. Enracinement.

Bien que souvent oubliée lors de la description des profils, l'étude du **système racinaire** est extrêmement importante pour la définition des conditions du milieu. Il existe en effet des relations étroites entre les faits pédologiques et le mode de développement du système racinaire. Il importe donc de signaler :

- La **nature** des racines en distinguant : les grosses racines lignifiées, vivantes et mortes, les racines herbacées, le chevelu des racines absorbantes.
- Les **espèces auxquelles** appartiennent les racines, lorsque cela est possible.
- La taille des racines : grosses (plus de 10 mm de diamètre), moyennes (2 à 10 mm), chevelues (moins de 2 mm).
- La **répartition** des racines entre et dans les horizons et l'abondance.
- La **direction** de pénétration des racines et la façon dont elles prospectent le sol.
Il faut indiquer si les racines suivent des fentes ou des lignes de moindre résistance ; si les poils absorbants pénètrent ou ne pénètrent pas à l'intérieur des agrégats. Il arrive fréquemment que des racines buttent sur un horizon plus cohérent, et s'étalent horizontalement au sommet de ce dernier (par exemple, une semelle de labour, un niveau d'engorgement, etc.).
- L'**état sanitaire** des racines. Ce fait se caractérise le plus souvent par des pourritures dégageant des odeurs butyriques, ou par des blessures sur les racines provenant de l'action d'animaux, ou du contact avec certains matériaux durs et coupants (quartz par exemple).
- On précise enfin les **liaisons** qui peuvent exister entre la présence des racines et certaines formations (trainées rouilles dans les horizons de surface, langue de marmorisation, concrétions, gley, etc.).

3.2.10. Formations particulières.

Ces formations dont la liste ci-jointe n'est pas exhaustive, sont parfois importantes car elles correspondent à des processus pédogénétiques particuliers qui permettent d'interpréter les profils.
Revêtement argileux (Coatings en anglais).

Il s'agit de minces pellicules d'argiles qui se déposent dans certains horizons sur les unités structurales ou le long des fentes de retrait. Ces revêtements sont plus ou moins épais et plus ou moins continus. Il ne faut pas les confondre avec les faces luisantes.

On indique leur **emplacement**, leur **épaisseur**, la présence éventuelle d'une **stratification**, leur **couleur**, leurs **formes**.

Les **faces de glissement** ou « **slickensides** ». Ce sont des faces polies et striées qui s'observent sur certains agrégats et dont l'origine est liée au frottement de deux masses l'une sur l'autre à la suite du gonflement différentiel d'argiles.

Tubes ferruginisés signalant d'anciennes racines.

Des morceaux de **charbon de bois**, de poteries, de débris divers confirmant des contaminations et des remaniements.

Des **formations dues à la faune** du sol : galeries d'insectes ou d'animaux fousseurs, par exemple : des « Krotovina », déjections de vers de terre, etc.

Efflorescences salines diverses : degré de cristallisation, couleur, goût, etc.

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Secrétariat d'État aux Affaires Étrangères

techniques rurales en afrique

10

pédologie et développement

B. D. P. A.

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

1970

techniques rurales en afrique

10

pédologie et développement

A la demande du Secrétariat d'Etat
et pour faciliter la tâche des ingénieurs travaillant en Afrique

Ce document a été établi par un groupe de travail
auquel ont collaboré,

l'Office de la Recherche Scientifique et Technique
Outre-mer,

le Bureau pour le Développement de la Promotion
de l'Agriculture.

