

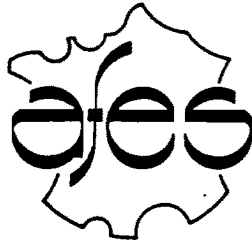
# référentiel pédologique



1995

TECHNIQUES ET PRATIQUES

 **INRA**  
EDITIONS



# **référentiel pédologique**

**1995**

## TECHNIQUES ET PRATIQUES

*Ouvrages parus dans la même collection :*

**Guide des analyses courantes  
en pédologie**

D. BAIZE  
1988, 172 p. (épuisé)

**Techniques for the brucellosis laboratory**

G.G. ALTON, L.M. JONES, R.D. ANGUS,  
J.M. VERGER  
1988, 192 p.

**Maladies de la tomate**

**Observer, identifier, lutter**

D. BLANCARD  
1988, 232 p.

**Espèces exotiques utilisables pour la  
reconstitution du couvert végétal en  
région méditerranéenne**

Bilan des arboretums forestiers  
d'élimination  
P. ALLEMAND  
1989, 150 p.

**Le cerf et son élevage**

**Alimentation, techniques et pathologie**

Co-édition INRA-Le Point Vétérinaire  
A. BRELURUT, A. PINGARD, M. THERIEZ  
1990, 144 p.

**Le contrôle anti-dopage chez le cheval**

D. COURTOT, Ph. JAUSSAUD  
1990, 156 p.

**L'alimentation des chevaux**

W. MARTIN-ROSSET  
1990, 232 p.

**Maladies des Cucurbitacées**

**Observer, identifier, lutter**

D. BLANCARD, H. LECOQ, M. PITRAT  
1991, 320 p.

**Weeds of the Lesser Antilles**

**Mauvaises Herbes des Petites Antilles**

J. FOURNET, J.L. HAMMERTON  
1991, 214 p.

**Illustrated key to West-Palaearctic  
genera of Pteromalidae**

Z. BOUČEK, J.Y. RASPLUS  
1991, 140 p.

**Maladies de conservation des fruits  
à pépins : pommes et poires**

P. BONDOUX  
Co-édition INRA-PHM Revue horticole  
1992, 228 p.

**Techniques de cytogénétique végétale**

J. JAHIER  
1992, 196 p.

**Pratique des statistiques non  
paramétriques**

P. SPRENT  
Traduction française : J.P. LEY  
1992, 302 p.

**Référentiel Pédologique**

Principaux sols d'Europe - 1992  
1992, 222 p.

**Immuno-analyses pour l'agriculture  
et l'alimentation**

A. PARAF, G. PELTRE. Traduction  
française : E. RERAT et A. BOUROCHE  
1992, 356 p.

**Graines des feuillus forestiers**

**De la récolte au semis**

B. SUSZKA, C. MULLER,  
M. BONNET-MASIMBERT  
1994, 318 p.

**Guide pour la description des sols**

D. BAIZE et B. JABIOL  
1995, 388 p.

**Flore des champs cultivés**

P. JAUZEIN  
1995, 898 p.

© INRA, Paris, 1995

ISBN : 2-7380-0633-7

ISSN : 1150-3912

Le code de la propriété intellectuelle du 1<sup>er</sup> juillet 1992 interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique. Toute reproduction, partielle ou totale, du présent ouvrage est interdite sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 3, rue Hautefeuille, Paris 6<sup>e</sup>.

## AVANT-PROPOS

Cet ouvrage est une nouvelle version plus complète du Référentiel Pédologique initialement édité en 1992. Il reprend tous les chapitres déjà publiés et présente un certain nombre de compléments :

- **onze chapitres nouveaux** qui traitent de solums présents dans une aire géographique nettement plus large que celle couverte par le premier volume : Afrique du Nord, zone arctique, pays de l'Est européen et du Moyen-Orient, solums de mangroves et de terrains salés, etc. Ces nouveaux chapitres sont : ANDOSOLS et VITROSOLS, CHERNOSOLS, CRYOSOLS, FERSIALSOLS, GRISOLS, GYPSOLS, LEPTISMECTISOLS, PHAEOSOLS, SALISOLS et SODISOLS, THIOSOLS et SULFATOSOLS, VERTISOLS ;

- la définition de qualificatifs additionnels,
- un index général.

Ce volume comporte donc :

- l'exposé des principes fondateurs du Référentiel présentés en introduction ;
- la définition de 73 « horizons de référence » dont 11 nouveaux par rapport au RP 92 ;
- la présentation de 102 « **Références** » regroupées en 30 chapitres d'inégales longueurs ;
- un glossaire de plus de 230 « Qualificatifs » ;
- et 6 annexes traitant notamment des « formes d'humus », de l'« hydro-morphie », des méthodes d'analyses et des équivalences avec l'ancienne classification CPCS.

Le Référentiel Pédologique est une typologie qui fait le point de tout ce que l'on sait, à ce jour, sur les sols des climats relativement tempérés. Établi à partir de concepts clarifiés et modernisés, il propose un **langage** clair et bien défini. Il suggère une façon d'organiser nos connaissances mais surtout c'est un **outil** efficace pour **transmettre** une information la plus riche possible et permettre des **comparaisons** entre différentes régions. C'est donc plus et mieux qu'une simple classification pédologique.

Insistons sur le fait qu'il s'agit d'un travail collectif de longue haleine qui a vu collaborer une centaine de spécialistes originaires de nombreux pays. Signalons que cette version sera traduite en anglais dans les mois qui viennent.

Certains chapitres semblent bien au point, d'autres mériteront certainement des améliorations qui ne peuvent provenir que de l'aide de spécialistes compétents et motivés. En effet, le Référentiel Pédologique est un système ouvert, auquel il est toujours possible d'ajouter des éléments nouveaux : Horizons de Référence, Références, Qualificatifs...

En ce qui concerne les sols des domaines arides et intertropicaux, de nombreux chapitres sont encore à rédiger. Pour réussir à compléter convenablement le Référentiel Pédologique, nous avons besoin de la collaboration des pédologues qui ont travaillé sous ces climats. Nous leur lançons un appel, qu'ils soient français ou étrangers, pour qu'ils nous aident à définir et nommer les sols de ces régions, dans le respect de principes désormais bien établis.

# AUTEURS ET COLLABORATEURS

## Coordination scientifique

Denis BAIZE et Michel-Claude GIRARD

## Auteurs

Dominique ARROUAYS  
Georges AUBERT  
Alain AUBRUN  
Pierre AUROUSSEAU  
Denis BAIZE  
Alain BEAUDOU  
Michel BORNAND  
Jean BOULAINE  
Louis Marie BRESSON  
Alain BRETHERS  
Jean CHRÉTIEN  
Jean-Claude FAVROT  
Michel-Claude GIRARD  
Bernard JABIOL  
Marcel JAMAGNE

Bokar KALOGA  
Arlette LAPLACE-DOLONDE  
Jean-Yves LOYER  
Gheorghe LUPASCU  
Claude MARIUS  
Nino NINOV  
Pascal PODWOJEVSKI  
Marcel POUGET  
Paul QUANTIN  
Dominique RIGHI  
Jean-Pierre ROSSIGNOL  
Alain RUELLAN  
Brigitte VAN VLIET  
Jean-François VIZIER

## Collaborateurs et personnes consultées

Mesdames M.M. ABREU - M. CRAHET - I. GAMOVA - C. GUENAT - K. GUNTHER - I. KOVDA.

Messieurs T. ANDONOV - H. ARNAL - P. ARPIN - D. BADIA-VILLAS - J.P. BARTHES - M. BERLAND - J. BERTOLDO DE OLIVEIRA - W.E.H. BLUM - P. BONFILS - P. BOTTNER - F. BOURGEAT - G. BOURGEON - T. BOYADGIEV - P. BRABANT - J.J. BRUN - C. BUSON - Y.M. CABIDOCHÉ - F. CHARNET - C. CHEVERRY - Y. COQUET - E. COSTANTINI - J. DEJOU - F. DELECOUR - B. DENIS - G. DUCLOS - J. DUCLOUX - P. ESPIAU - P. FAIVRE - R. FAUCK - L. FLORENTIN - B. FOURNIER - A. FRANC - T. GALLALI - A. GAOUAR - J.L. GAUQUELIN - P. GENSAC - J.M. GOBAT - M. GRATTIER - M. GURY - R. HARDY - B. HOUMANE - F.X. HUMBEL - M. ISAMBERT - F. JACQUIN - P. JELIAZKOV - J.O. JOB - M. KHOUMA - R. LAHMAR - M. LAMOUROUX - M. LATHAM - J.Y. LEBRUSQ - J.P. LEGROS - A. LENFANT - J.C. LEPRUN - B. LESAFFRE - G. LEVY - J. LOZET - R. MAIGNIEN - A. M'HIRI - B. MOUGENOT - A. OSMAN - J. PELLERIN - J.F. PONGE - F. PREVITALI - J.C. REVEL - L.M. RIVIERE - J.M. RIVIERE - J. ROQUE - R. SALIN - D. SCHWARTZ - J. SERVANT - S. SINAJ - A. SOUISSI - M. SOURDAT - F. TOUTAIN - J. TRICART - F. VAN OORT - J. VAUDOUR - W. VERHEYE - B. VINCENT - F. WEISSEN - G. YORO - D. ZIMMER.



## SOMMAIRE

Pourquoi un Référentiel Pédologique ? .....	9
Liste des horizons de référence. ....	25
Définitions des horizons de référence .....	27
Liste et définitions des qualificatifs .....	57
Qualificatifs pour les excès d'eau .....	73
Qualificatifs liés au taux de saturation .....	74
Abondance relative de $\text{Ca}^{++}$ et $\text{Mg}^{++}$ .....	76
Potentiel hydrogène .....	76
Profondeurs et épaisseurs - Décompte et tolérances .....	77
Présentation des grands ensembles de références (GER) :	
ALOCRISOLS .....	81
ANDOSOLS et VITROSOLS .....	85
ANTHROPOSOLS .....	95
ARÉNOSOLS .....	99
BRUNISOLS .....	103
Solums carbonatés et saturés .....	109
CHERNOSOLS .....	121
COLLUVIOSOLS .....	127
CRYOSOLS .....	131
FERSIALSOLS .....	143
FLUVIOSOLS et THALASSOSOLS .....	149
GRISOLS .....	157
GYPSOSOLS .....	161
HISTOSOLS .....	167
Solums à caractères hydromorphes .....	181
LEPTISMECTISOLS .....	191
LITHOSOLS .....	193
LUVISOLS .....	195
ORGANOSOLS .....	205
PÉLOSOLS .....	209
PEYROSOLS .....	215
PHEOSOLS .....	219
PLANOSOLS .....	223



PODZOSOLS .....	229
RANKOSOLS .....	237
RÉGOSOLS .....	239
SOLUMS SALSODIQUES : SALISOLS et SODISOLS .....	241
THIOSOLS et SULFATOSOLS .....	251
VERACRISOLS .....	257
VERTISOLS .....	263
Annexe 1 - Typologie des formes d'humus .....	275
Annexe 2 - Eléments pour l'établissement d'un Référentiel pour les solums hydromorphes .....	295
Annexe 3 - Méthodes d'analyses préconisées .....	313
Annexe 4 - Correspondances des horizons dans les systèmes CPCS et RP .....	319
Annexe 5 - Principaux systèmes de classification et ouvrages consultés	321
Annexe 6 - Liste des 102 Références (par chapitre) .....	323
Liste des 102 Références (ordre alphabétique) .....	325
Lexique .....	327
Index alphabétique des matières .....	331

# POURQUOI UN RÉFÉRENTIEL PÉDOLOGIQUE ?

D. Baize, M.C. Girard,  
J. Boulaine, C. Cheverry et A. Ruellan

## Introduction

Depuis 1986, l'Association Française pour l'Étude du Sol a entrepris un travail destiné à remplacer le système français de classification des sols qui avait été élaboré en 1967 par la Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols (CPCS).

Le système en cours d'élaboration reste dans le mode de pensée morphogénétique qui demeure classique en France. Cependant, deux innovations majeures sont en cours d'introduction :

- les objets que nous étudions sont les Couvertures Pédologiques, lesquelles peuvent être subdivisées en horizons qui se succèdent verticalement et latéralement ;
- le système en cours de construction n'est pas une classification hiérarchisée mais un Référentiel Pédologique.

## Les couvertures pédologiques

Ce qu'on appelle habituellement « le sol », en pédologie, est un objet naturel<sup>1</sup>, continu et tridimensionnel, qui sera nommé « couverture pédologique » dans le présent Référentiel.

Les couvertures pédologiques sont formées de constituants minéraux et organiques, présents à l'état solide, liquide ou gazeux. Ces constituants sont organisés entre eux, formant ainsi des « structures » spécifiques du milieu pédologique. Les couvertures pédologiques sont en perpétuelles évolutions, ce qui leur confère une dimension supplémentaire : la durée.

---

11<sup>e</sup> version (mars 1992)

1. C'est-à-dire dont l'existence initiale ne dépend pas de l'Homme.

C'est pourquoi leur étude doit se fonder sur trois séries de données :

- des données de constitution,
- des données structurales (organisations),
- des données relatives aux dynamiques (fonctionnements, évolutions).

Les couvertures pédologiques sont le plus souvent continues, mais il arrive qu'elles soient très réduites, voire absentes. En outre, elles sont fréquemment modifiées par des activités humaines, sur des profondeurs variables et de façon plus ou moins apparente.

Ce sont des continuums hétérogènes, mais les variations que l'on y observe d'un point à un autre ne sont pas aléatoires car les couvertures pédologiques sont elles-mêmes structurées.

On peut distinguer plusieurs niveaux d'organisation dans une couverture pédologique. Les niveaux les plus fins (« organisations élémentaires », « assemblages ») sont saisis à l'aide de divers outils d'appréhension, depuis le microscope électronique jusqu'à l'œil nu. Aux niveaux plus élevés, on distingue :

- **les horizons** qui résultent de la subdivision d'une couverture pédologique en volumes considérés comme homogènes (voir ci-dessous) ;
- **les systèmes pédologiques** : plusieurs horizons sont associés et ordonnés dans l'espace, dans les trois dimensions verticale et latérales. La dimension habituelle de cette organisation est hectométrique ou kilométrique, ou plus. Elle n'est donc pas perceptible sur le terrain en un seul site. D'où l'intérêt des prospections itinérantes, des photographies aériennes et des images satellitaires.

Pour étudier les couvertures pédologiques, il est indispensable de réaliser des sondages, de creuser des tranchées ou des fosses, de les décrire, puis de prélever des échantillons pour analyses et examens complémentaires. Ces points d'observation et de prélèvement doivent être judicieusement localisés en fonction d'une analyse préalable du paysage (géomorphologie, hydrographie, végétation, etc.) mais aussi en tenant compte des informations acquises progressivement.

D'autre part, les couvertures pédologiques connaissent au cours du temps des transformations pseudo-cycliques, réversibles ou irréversibles. Les différentes organisations et certains caractères évoluent avec des durées et selon des périodicités diverses : journalières, saisonnières, annuelles... Les dates d'observation et d'échantillonnage sont donc des informations nécessaires.

## **Les horizons**

En Science du Sol comme dans les autres sciences, lorsque le cerveau humain se trouve face à des continuums, il s'efforce de les découper en unités élémentaires : horizons et unités cartographiques dans le domaine spatial, unités typologiques ou « types » dans le domaine typologique.

Les horizons résultent de la subdivision d'une couverture pédologique en volumes considérés comme suffisamment homogènes. Il est clair que cette

homogénéité est relative et correspond à une certaine échelle d'investigation. Elle autorise explicitement une hétérogénéité dans le détail : agrégats distincts, différents constituants formant la « masse basale » et, naturellement, les « traits pédologiques ».

Par leur dimension verticale centimétrique à métrique, les horizons sont directement perceptibles à l'œil nu sur le terrain. Le prélèvement d'échantillons est possible, à la main. C'est pourquoi l'horizon est le niveau d'appréhension le plus pratique pour observer et échantillonner une couverture pédologique. Le Référentiel Pédologique considère les horizons comme les entités de base permettant d'identifier, de caractériser et de définir une couverture pédologique.

Chaque horizon est un volume. Il est nécessaire de définir son **contenu** : description de ses constituants, organisations, caractères, propriétés et caractéristiques analytiques, mais aussi son **contenant** : description de ses limites, de son enveloppe. Sa dimension verticale la plus petite est au moins centimétrique et souvent décimétrique, voire métrique. Ses dimensions latérales sont au moins décimétriques et le plus souvent hectométriques ou kilométriques. Un horizon n'est pas infini : il disparaît latéralement ou se transforme en un autre horizon. Son extension spatiale est délimitable.

Les limites supérieures et inférieures d'un horizon sont généralement conformes à la surface du terrain. Mais un horizon peut aussi se présenter sous la forme de lentilles ou de langues, il peut même être entièrement inclus dans un autre horizon. Les transitions entre horizons peuvent être nettes ou plus ou moins progressives. Chaque horizon est presque toujours associé géométriquement à d'autres horizons et lié à eux par des relations étroites, relations pédogénétiques (évolutions longues) et relations fonctionnelles (dynamique journalière ou saisonnière). Ces dernières revêtent une grande importance pratique.

La position d'un horizon par rapport à l'interface de la couverture pédologique avec l'atmosphère est une caractéristique essentielle. Elle conditionne en effet l'apport de matières organiques, l'importance des flux thermiques ou hydriques qui l'atteignent ou le traversent, la masse des horizons sus-jacents qui pèsent sur lui, la pénétration par les racines et les animaux, etc., presque toutes les conditions qui règlent son évolution et son fonctionnement.

Deux autres concepts seront utilisés dans le Référentiel Pédologique (définitions différentes de celles données dans d'autres pays ou antérieurement) : celui de Solum et celui de Profil.

Le Solum est une tranche verticale d'une couverture pédologique observable dans une fosse ou une tranchée. Si possible, on intègre dans le solum une épaisseur suffisante de la roche sous-jacente pour en permettre la caractérisation. Les dimensions horizontales d'un solum sont décimétriques : quelques décimètres de largeur et quelques centimètres d'épaisseur pour l'exploration et la description des caractères. La dimension verticale du solum varie de quelques centimètres (LITHOSOLS) à plusieurs mètres (vieilles couvertures pédologiques sous climats agressifs).

Le Profil est la séquence d'informations concernant un solum, ordonnée de haut en bas. Ces informations sont relatives à des caractères visuels (profil structural) ou bien à une seule variable (profil calcaire, profil hydrique, profil granulométrique) ou bien à des considérations plus synthétiques : profil d'altération, profil cultural.

Les notions de Solum et de Profil ainsi définies se distinguent donc nettement de la notion de Pedon : unité de volume nécessaire et suffisant pour échantillonner et décrire la couverture pédologique en un point donné.

Les couvertures pédologiques sont des volumes naturels réels. Elles font l'objet de l'utilisation humaine, de l'étude scientifique *in situ*, de la prospection cartographique, etc. Chaque solum, dont les dimensions sont limitées arbitrairement, est aussi un volume réel.

Les pédologues utilisent couramment les « horizons-concepts » qui sont le résultat de l'interprétation de certains caractères morphologiques propres à l'horizon considéré, associés à des processus pédogénétiques, mais qui résultent aussi de la prise en compte des autres horizons et de divers éléments du pédopaysage<sup>2</sup>. Ces « horizons-concepts » sont l'objet d'une typologie morphogénétique et d'un langage synthétique auquel sont associés des symboles : H, O, A, E, S, BT... Ce sont les Horizons de Référence.

Une fois interprété, le solum peut être conceptualisé et schématisé sous la forme d'une superposition, dans un certain ordre, d'horizons de référence : c'est le « solum-concept ».

Les « solums-concepts » sont donc des abstractions qui se constituent dans le conscient collectif d'un groupe de pédologues par généralisation d'observations répétées. Cette conceptualisation, tributaire de l'état d'avancement des sciences et de l'expérience de chacun, associe une certaine morphologie, un certain fonctionnement, un ensemble de propriétés et un mode d'évolution pour définir des catégories : catégories morphologiques, pédogénétiques ou autres...

## Objectifs et principes de base du Référentiel Pédologique

Le Référentiel Pédologique (en abrégé RP) n'est pas une classification. Ses auteurs ont cherché à établir une typologie qui soit à la fois scientifique et pragmatique, précise et souple, et qui ne comporte que deux catégories : les Références et les Types, subdivisions d'une Référence par adjonction d'un ou plusieurs Qualificatifs.

Le RP est conçu comme un espace typologique à N dimensions dans lequel sont repérées les Références sans souci de hiérarchisation. Lorsque c'est nécessaire pour établir des corrélations régionales, nationales ou internationales, le pédologue situe un solum-concept, une plage cartographique ou une

---

2. Pédopaysage : ensemble des horizons pédologiques et des éléments paysagiques (végétation, effets des activités humaines, géomorphologie, hydrologie, roches-mères ou substrats) dont l'organisation spatiale permet de définir, dans son ensemble, tout ou partie d'une couverture pédologique.

unité cartographique par rapport à ces Références. Le RP présente une collection de Références dont le nombre augmentera certainement dans l'avenir. En effet, dès que l'on sera capable de conceptualiser des solums d'existence suffisamment générale et trop différents des Références définies antérieurement, on pourra en définir de nouvelles. Il s'agit donc d'un système entièrement ouvert.

Cette typologie tient compte :

- de la morphologie des solums,
- des propriétés de comportement et de fonctionnement,
- des processus pédogénétiques.

La morphologie des solums (au sens large, incluant aussi les données analytiques et minéralogiques, etc.) constitue la base essentielle sur laquelle se fonde le rattachement des solums aux Références, en privilégiant cependant les caractères qui jouent un rôle majeur vis-à-vis des comportements et fonctionnements (textures, épaisseurs, différenciations structurales, etc.).

Les propriétés de comportement (agronomiques, sylvicoles, géotechniques) et de fonctionnement (régimes, fonctionnements hydrique, structural, etc.) ont été prises en compte le plus possible pour distinguer et définir les Références. C'est ainsi que les PÉLOSOLS, ARÉNOSOLS, VERTISOLS, PLANOSOLS, RÉDUCTISOLS ont paru nécessaires.

Les processus pédogénétiques ont été présentés lorsqu'ils sont suffisamment bien connus. Ils constituent le cadre idéal pour l'interprétation générale des solums et des pédopaysages. En effet, dans certains cas, la morphologie et les propriétés actuelles des sols découlent étroitement de l'action de la pédogenèse. Dans d'autres cas, au contraire, l'évolution pédogénétique est encore modeste et le solum reflète surtout les propriétés de la roche-mère (héritage). Lorsqu'on sait que plusieurs cycles de pédogenèse se sont succédés, priorité sera donnée aux évolutions les plus récentes.

Mais le RP constitue également un langage synthétique. Comme tel, il tient compte du vocabulaire qui se développe depuis plus de 20 années tant au niveau national que dans les instances internationales. Ainsi, un certain nombre de termes ont été empruntés à d'autres systèmes (PLANOSOLS, PÉLOSOLS, ARÉNOSOLS). En fonction des connaissances nouvelles acquises depuis 1967, il a fallu modifier la définition de certains termes anciens ou bien créer des néologismes pour exprimer des concepts nouveaux (ALOCRISOLS, PEYROSOLS, horizon réductique, etc.).

## **Organisation du Référentiel**

### **Les horizons de référence**

Ils constituent la base du système puisqu'ils servent à définir les Références. Le RP en propose plus de soixante-dix. Chacun est défini et décrit par plusieurs des éléments ci-après :

- caractères morphologiques (constituants, traits pédologiques, structure, couleurs, propriétés physiques, hydriques, etc.) ;
- données analytiques (pH, S/T, CEC, densité apparente, etc.) ;
- signification pédogénétique,
- principales variations possibles de ces caractères (principaux faciès),
- positions les plus fréquentes au sein des couvertures pédologiques, etc.

Un Horizon de Référence n'est pas, en général, diagnostique à lui tout seul. Ce sont certaines successions d'Horizons de Référence, les Solums-Diagnostiques, qui permettent de rattacher tel solum à telle Référence.

### Les références

Le plus souvent, elles sont définies par des Solums-Diagnostiques. Mais certaines Références sont définies d'autres façons :

- par leur position dans le pédopaysage et la nature de leur roche-mère (cas des FLUVIOSOLS et des COLLUVIOSOLS) ;
- ou bien par des macro-caractères du solum, c'est-à-dire par des traits pédologiques ou des caractères qui affectent plusieurs horizons. Ainsi, les fissures des VERTISOLS ou bien la forte différenciation texturale et la transition brutale entre horizons des PLANOSOLS sont des macro-caractères utilisés au plus haut niveau pour définir certaines Références.

Les Références sont définies, à ce jour, par des séquences verticales d'horizons replacées dans leur pédopaysage. On espère que, dans un futur proche, il sera possible d'en définir un certain nombre à organisation latérale.

Dans le RP, chaque Référence est présentée en renseignant les rubriques ci-dessous :

- définition et signification pédogénétique,
- solums-diagnostiques et macro-caractères spécifiques,
- qualificatifs associés,
- situation dans le paysage,
- exemples de types,
- propriétés agronomiques, sylvicoles, géotechniques, etc. ;
- fonctionnements,
- intergrades et seuils de tolérance au delà desquels on ne peut plus rattacher un solum à cette Référence.

Les différences entre Références sont basées sur des propriétés observables et/ou mesurables. La présente version du RP propose 102 Références. Il est probable que leur nombre atteindra 150 pour traiter des sols du monde entier.

Les noms des Références comportent un ou deux mots et sont toujours écrits en lettres capitales.

### Les Types et les Qualificatifs

Les Références peuvent être subdivisées en Types par l'adjonction de Qualificatifs. Ainsi, un CALCOSOL fluviatique, vertique, humifère, réductique est un Type rattaché à la Référence des CALCOSOLS.

Il est nécessaire d'ajouter le plus grand nombre possible de Qualificatifs afin de préciser au maximum les propriétés d'un solum :

PLANOSOL TYPIQUE pédomorphe, albique, dystrique, à moder, d'argile sableuse ;

BRUNISOL MÉSOSATURÉ colluvial, pachique, limoneux, à mull, de gneiss ;

LUVISOL DÉGRADÉ drainé, resaturé, à fragipan, de limon ancien.

Une première liste de Qualificatifs (adjectifs, périphrases, préfixes) a été établie. Chacun précise un caractère du solum et une définition en est proposée de façon à ce que chaque terme n'ait qu'une seule signification. Les Qualificatifs sont toujours écrits en lettres minuscules.

Ne sont indiqués dans le RP que quelques Types connus mais il en existe certainement beaucoup d'autres. La liste des Qualificatifs étant ouverte et les combinaisons illimitées, la liste des Types est, par nature, ouverte et illimitée.

Au niveau mondial, les Références peuvent suffire pour échanger l'information ou pour exprimer la répartition des grands phénomènes pédologiques. En revanche, aux échelons national, régional ou local, il est indispensable de les détailler afin de compléter l'information et de la rendre plus facilement utilisable.

C'est au niveau des Types qu'il sera possible d'établir des correspondances entre le Référentiel Pédologique et les diverses classifications existantes. C'est également à ce niveau qu'il sera possible d'extrapoler certaines connaissances acquises en un site (relations entre nature de la couverture pédologique et son utilisation) à tous les sites pédologiquement comparables. Ainsi, les résultats d'un essai agronomique mené sur un LUVISOL DÉGRADÉ, drainé, resaturé, à fragipan, sur limons du Faux-Perche seront peut-être généralisables à tous les sols de ce même Type dans le Bassin de Paris.

### **Les grands ensembles de références (GER)**

Il s'agit d'ensembles typologiques dont le concept central est bien défini et reconnu par nombre de classifications dans le monde (les PODZOSOLS, les ANDOSOLS, les VERTISOLS, etc.) mais dont les frontières avec les autres Grands Ensembles voisins peuvent être assez floues.

La nécessité des GER a été ressentie surtout pour éviter les répétitions inutiles dans la présentation des Références. Ils regroupent plusieurs Références qui ont de nombreux caractères communs et qui, par exemple, montrent les mêmes Horizons de Référence. La présentation de ces caractères communs et de ces horizons communs dans un même texte répond donc surtout à une nécessité rédactionnelle.

L'autre intérêt, d'ordre didactique, est de regrouper plusieurs Références dont les concepts centraux sont traditionnellement reconnus comme associés. Ainsi 7 Références caractérisées par l'existence d'un processus de podzolisation sont rassemblées dans un même GER des PODZOSOLS. Dans cet ouvrage, plusieurs GER sont présentés, mais on pourrait en constituer d'autres en opérant d'autres regroupements.



Les GER ne sont pas une catégorie du Référentiel Pédologique. Leur rôle y est secondaire et il ne faut pas leur donner d'importance hiérarchique.

### **La démarche de rattachement**

Le Référentiel doit permettre de rattacher tout solum, toute plage cartographique ou toute unité typologique à une ou plusieurs Références. La démarche de rattachement comporte trois étapes :

- la caractérisation,
- l'interprétation,
- le rattachement proprement dit.

#### **La caractérisation**

La caractérisation optimale de la couverture pédologique en chaque site nécessite :

- des descriptions et des analyses de chaque horizon y compris la roche-mère ou le substrat (si accessibles),
- la description des transitions entre horizons,
- une description minimale de l'environnement du site étudié,
- lorsque c'est possible, des suivis, au cours du temps, qui permettent de mieux cerner les régimes et les fonctionnements.

Certaines de ces informations sont recueillies rapidement, *in situ* ; d'autres impliquent de mettre en œuvre des techniques (de préparation, de mesure, d'analyse) afin de réaliser des études complémentaires, au laboratoire ou sur le terrain. Le recours à ces techniques occasionne un certain délai se mesurant en semaines ou en mois.

#### **L'interprétation**

Ce sont les successions verticales ou latérales des différents horizons qui éclairent le plus notre interprétation, car ces superpositions ou ces enchaînements latéraux ne sont pas le fait du hasard mais résultent de l'action de processus pédologiques (naturels ou anthropiques) sur une roche-mère initiale.

Pour effectuer cette démarche d'interprétation, le pédologue puise dans le corpus des connaissances de son époque et dans son expérience personnelle. Il lui faut conceptualiser en termes d'Horizons de Référence les horizons qu'il a décrits et caractérisés. Pour cela, les traits pédologiques, certaines caractéristiques morphologiques et/ou analytiques sont attribués à des processus pédogénétiques, l'interprétation d'un horizon ne pouvant être faite indépendamment de l'organisation des horizons dans l'espace géographique (verticalement et latéralement), ni de nombreux éléments du pédopaysage.

#### **Le rattachement**

Le rattachement consiste à relier un solum à une ou plusieurs Références puis à lui donner le(s) nom(s) correspondant. Cela se fait par un raisonne-

ment pédologique qui est du même ordre que celui effectué lors de l'interprétation des horizons.

Le rattachement est un système souple qui nécessite l'étude de la ressemblance entre un solum et les Références. Pour analyser cette ressemblance, on peut se fonder sur les concepts statistiques de « modes » et de « distances mathématiques » et employer des méthodes telles que « analyses multidimensionnelles » et « systèmes experts ».

On distingue des rattachements simple, imparfait, double, multiple et les intergrades (cf. légende fig. 1).

### **Création d'une nouvelle Référence**

Si un solum se trouve très éloigné de toutes les Références définies antérieurement, ce peut être l'occasion d'ajouter au RP une nouvelle Référence. Cela est en effet toujours possible sans pour autant remettre en cause l'ensemble du Référentiel. De même, il est possible de signaler l'existence de nouveaux Types. Cependant, afin d'éviter la confusion, toute proposition de création d'un nouvel Horizon de Référence, d'une nouvelle Référence ou d'un nouveau Qualificatif devra faire l'objet d'une étude préalable détaillée et argumentée afin de maintenir la cohérence générale.

## **Différentes utilisations du Référentiel**

Les informations pédologiques peuvent être traitées dans deux domaines distincts :

- le domaine typologique,
- le domaine de l'espace géographique.

### **Dans le domaine typologique**

L'organisation des Références et des Types en ensembles plus généraux est laissée au libre choix des pédologues. Ainsi, il est possible de rassembler toutes les Références et tous les Types présentant un caractère important en commun et de constituer ainsi un Ensemble Cognat. Par exemple, on pourra rassembler en un seul Ensemble Cognat (à la fois conceptuel et paysagique) tous les FLUVIOSOLS et tous les Types fluviques (CALCOSOLS fluviques, ARÉ-NOSOLS fluviques, RÉDUCTISOLS fluviques, etc.). Autre exemple : tous les Types ou Références connaissant des excès d'eau à moins de 50 cm. La constitution de ces Ensembles Cognats est entièrement libre.

Pour un certain nombre d'objectifs particuliers, il peut être nécessaire de construire une typologie ou une classification. Le Référentiel Pédologique fournit des matériaux pour une telle construction. A partir de tout ou partie du référentiel général, il est possible :

- de constituer un référentiel local ou régional, bâti à partir des Références et Types effectivement reconnus dans le territoire considéré. Les Types pouvant être détaillés et multipliés selon les besoins et en fonction des connaissances acquises. Il est souhaitable que toutes les typologies locales et régionales qui s'ébauchent aujourd'hui en France soient compatibles avec le RP ;
- d'établir des correspondances entre Références et Types du RP avec diverses classifications étrangères ou systèmes internationaux ;
- de construire diverses classifications personnelles ou spéciales.

Lorsqu'on aura à utiliser ce Référentiel dans un cadre local (région de programme ou région naturelle, département, canton), il faudra certainement utiliser une terminologie plus détaillée que ce qui est nécessaire pour une synthèse nationale ou internationale. Il sera alors nécessaire de puiser dans la liste des Qualificatifs afin de caractériser les Types de manière détaillée. La nature de la roche-mère, en particulier, devra être précisée : définition pétrographique ou minéralogique, âge, mode de dépôt ou de mise en place, etc. Chaque Qualificatif employé ayant une définition relativement précise, l'information pédologique pourra circuler sans ambiguïté d'une région à l'autre ou de l'échelon local à l'échelon national.

Quant aux spécialistes d'autres disciplines scientifiques qui doivent prendre en compte les couvertures pédologiques, il leur est possible de se baser sur les seuls Horizons de Référence pour construire une autre typologie, qui corresponde à leurs besoins. Il leur est aussi possible d'inclure des éléments du pédopaysage (pentes, végétation...) pour compléter leur propre classification ou référentiel.

### Dans le domaine de l'espace géographique

La caractérisation d'une unité typologique n'est pas liée nécessairement à une analyse spatiale ; il en va différemment de l'unité cartographique qui est, par essence, liée à une distribution spatiale (aires, formes, emplacements des plages cartographiques la constituant). L'unité cartographique est tributaire des échelles d'investigation et de publication de la carte et, de ce fait, associe souvent plusieurs unités typologiques.

Le terme de cartographie, couramment employé, recouvre en fait deux activités distinctes :

- la cartogénèse : analyse de l'organisation spatiale de la couverture pédologique, devant déboucher le plus souvent sur un découpage de celle-ci en sous-ensembles spatiaux ;
- la cartographie *sensu stricto* : représentation graphique de cette organisation et/ou de ce découpage sur un fond de carte topographique.

La cartogénèse ne nécessite pas de faire appel à une classification générale pré-établie. En revanche, l'expression synthétique de l'organisation spatiale des couvertures pédologiques est facilitée par un langage. Le Référentiel Pédologique peut jouer ce rôle de langage par ses Qualificatifs, ses Horizons de Référence ou ses Références.

En ce qui concerne toutes les représentations graphiques, plusieurs questions se posent relatives à :

- l'objet représenté qui peut être un solum, un horizon, un caractère ou un ensemble structuré de caractères ;
- la représentation choisie : en deux dimensions, en plusieurs plans horizontaux superposés (= tomographies) ou en trois dimensions ;
- l'organisation de la légende.

Le Référentiel est très souple et propose un langage qui peut aider les représentations :

- de caractères, grâce aux Qualificatifs ;
- d'horizons, grâce aux Horizons de Référence ;
- de solums, grâce aux Références.

Pour la représentation en deux dimensions par surfaces fermées (carte), il semble que les Références soient bien adaptées à l'interprétation des plages cartographiques. Pour les unités cartographiques, on peut adopter comme langage celui des Références, des Types ou des Ensembles Cognats. Pour les représentations en plans verticaux des couvertures pédologiques (coupes pédologiques), le langage du Référentiel peut être utilisé pour nommer les volumes présentés.

Pour la structuration de la légende d'une carte, le Référentiel n'impose aucune hiérarchie typologique. On peut décider de présenter cette légende structurée par pédopaysage ou par régions naturelles. Les présentations peuvent être différentes d'une carte à une autre, mais les cartes resteront compatibles si le langage synthétique (Références, Types, horizons, Qualificatifs) reste le même. Et ceci d'autant plus que l'ensemble de l'information graphique et sémantique sera contenue dans des bases de données informatiques. Le Référentiel n'impose donc pas une représentation cartographique mais propose un langage commun qui permet de passer d'une représentation à une autre.

## **Remarques finales**

Le Référentiel ne peut pas être le plus adéquat pour toutes les régions du monde : une adaptation est toujours nécessaire aux conditions particulières et aux besoins spécifiques d'applications pratiques. Mais cette adaptation devrait être facilitée, grâce aux principes du Référentiel.

Il n'est pas définitif : l'évolution continue de la connaissance et la maturation des concepts permettront d'être plus performants. Le RP a d'ores et déjà prévu les modalités de sa mise à jour.

Il n'est pas capable de régler les problèmes de la cartogénèse et en particulier ceux relatifs à l'extrapolation d'une série d'informations ponctuelles dans les trois dimensions de l'espace. On peut seulement espérer que le langage constitué par le Référentiel facilitera les diverses démarches.

Au concept central de chaque Référence est attaché un certain nombre de caractères. Pour chacun de ces caractères, on peut définir un intervalle modal et un intervalle périmodal. Dans l'intervalle modal, on considère que toutes les valeurs du caractère définissent le concept central d'une manière également acceptable. Dans l'intervalle périmodal, toutes les valeurs du caractère définissent imparfaitement le concept central. En dehors de l'intervalle périmodal, on considère qu'il n'est plus possible d'évoquer le concept central.

Mais chaque Référence est définie par plusieurs caractères qualitatifs (ordonnés ou non) et quantitatifs. On applique les notions d'intervalles modal et périmodal à l'espace à N dimensions que représente une Référence. Lorsqu'un solum se situe dans l'espace modal d'une Référence, on a un rattachement simple. Lorsqu'il se situe dans l'espace périmodal d'une Référence, on a un rattachement imparfait. Lorsque le solum se situe en dehors de l'espace périmodal d'une Référence, il n'est plus possible de pratiquer un rattachement. On entre dans le domaine des « intergrades ».

### **Le rattachement simple**

Il y a peu de chances qu'un solum étudié corresponde exactement aux définitions fournies par le Référentiel. Le rattachement simple admet donc quelques différences d'ampleurs limitées, par rapport à la définition centrale d'une Référence. En d'autres termes, on reste dans l'espace modal d'une seule Référence.

### **Le rattachement imparfait**

Les divergences deviennent importantes, supérieures à celles admises dans la partie modale mais comprises dans l'espace périmodal d'une Référence. Il faut indiquer clairement que certains caractères observés ne correspondent pas à la définition de la Référence la plus proche. Exemple : LUVISOL TYPIQUE partiellement tronqué de ses horizons E ou bien ORGANOSOL CALCIQUE insuffisamment riche en carbone (6,5 % au lieu des 8 % exigés).

### **Le rattachement double ou multiple**

Souvent, le pédologue observe des solums qui peuvent être rattachés à deux Références et il ne souhaite pas privilégier l'une aux dépens de l'autre. Dans un tel cas, le solum appartient aux espaces périmodaux de deux Références : un rattachement double s'impose pour conserver une information la plus complète possible et ainsi mieux rendre compte de la réalité. Par exemple, certains sols se rattachent à l'évidence aux LUVISOLS car l'illuviation y est bien visible et s'y exprime par une nette différenciation à la fois texturale et structurale mais ils sont aussi le siège d'engorgements intenses à faible profondeur, que l'on ne peut pas négliger. Le solum sera nommé LUVISOL-RÉDOXISOL. Un rattachement triple est envisageable.

### **Les intergrades**

Le terme d'intergrade correspond à des solums que leurs caractères situent en dehors des périodes des Références les plus proches. Dans le système proposé, un solum pourra être situé à mi-distance entre deux Références (intergrade double) mais il pourra aussi être rattaché à 3, voire 4 Références (intergrade multiple). Par exemple, parmi les « terres noires de Limagne », il existe des solums que l'on peut rattacher à la fois aux CHERNOSOLS, aux RÉDUCTISOLS et aux VERTISOLS. Il est bon de pouvoir exprimer ce caractère triple.



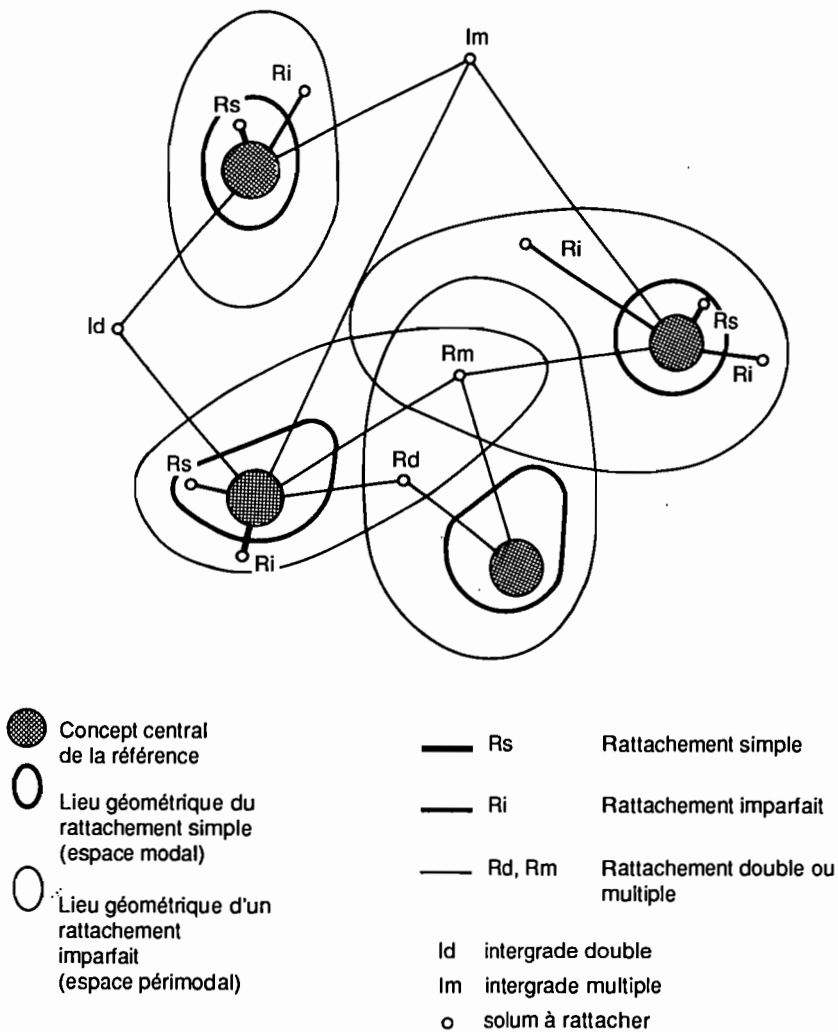


Figure 1

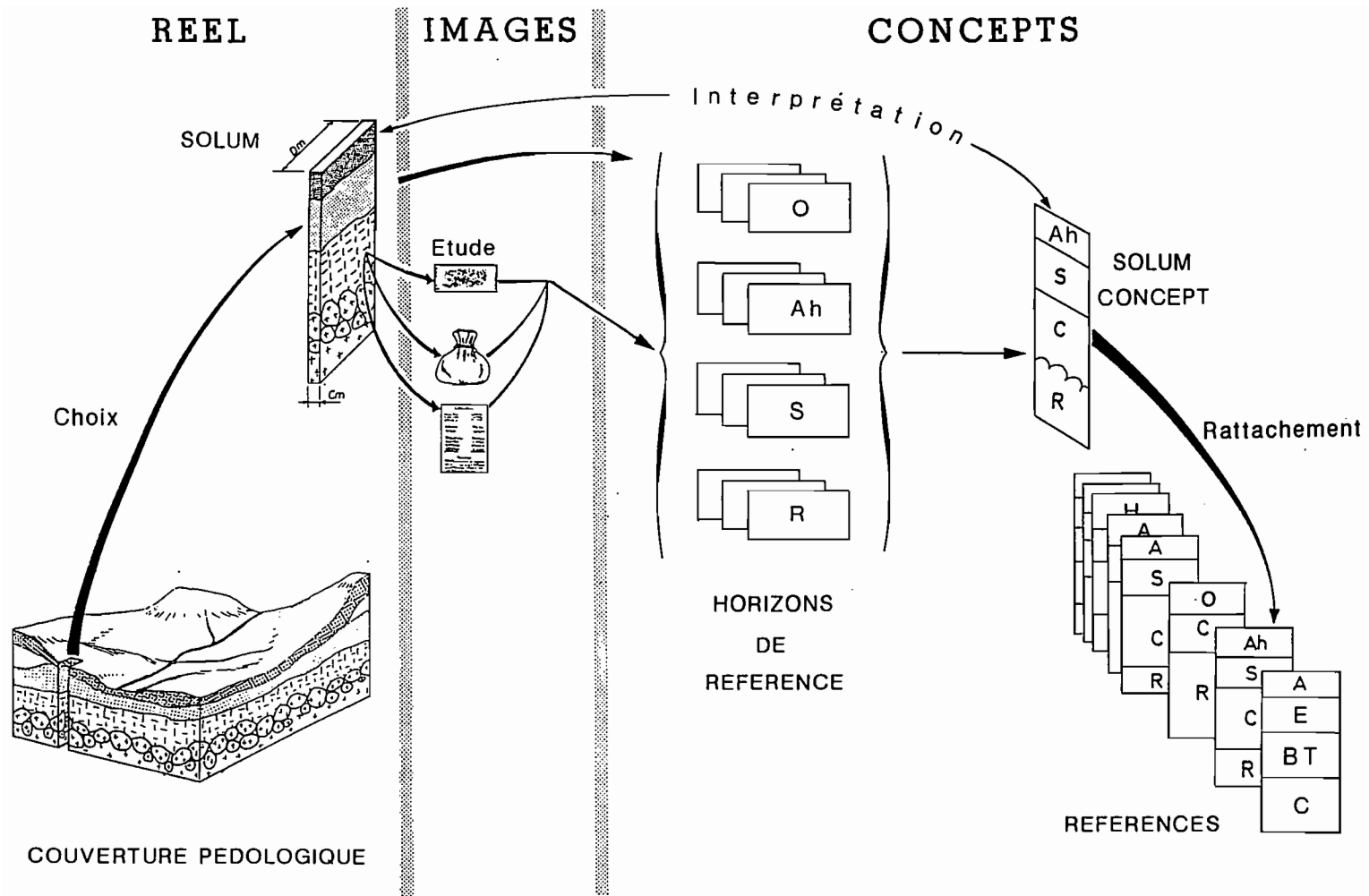


Figure 2. - Le rattachement d'un Solum au Référentiel.

**Le rattachement au Référentiel Pédologique :  
une démarche en quatre phases**

Phase 1 : RECUEIL DU MAXIMUM D'INFORMATIONS SUR LE TERRAIN et AU LABORATOIRE :

- description du solum et de son environnement
- analyses, suivis, lames minces,...

Phase 2 : INTERPRÉTATION DES DONNÉES en termes

- d'HORIZONS DE RÉFÉRENCE,
- de SOLUMS-CONCEPTS,
- de propriétés et de fonctionnements.

Phase 3 : RATTACHEMENT A UNE ou PLUSIEURS RÉFÉRENCES

Phase 4 : EXPRESSION de ce rattachement sous une forme normalisée :

INTERPRÉ-  
TATION

1°) NOM DE LA RÉFÉRENCE  
liste ouverte.

- niveau obligatoire -  
*à écrire en CAPITALES*

INFORMATION

2°) Utilisation de QUALIFICATIFS pour déterminer un TYPE et transmettre une information plus riche  
Utilisation libre, additive, termes bien définis (glossaire) -  
- liste ouverte. *à écrire en minuscules*

3°) Description du MATÉRIAU ORIGINEL  
(granulométrie, minéralogie, faciès lithologique, âge et mode de mise en place, etc.)  
*à écrire en minuscules.*

*Exemples :*

CALCOSOL fluviatique, vertique, argileux, réductique  
RENDOSOL hyper-calcaire, calcaire, issu de craie tendre  
LUVISOL TYPIQUE eutriatique, rédoxique, agrique, issu de loess  
LUVISOL DÉGRADÉ à fragipan, drainé, resaturé  
LUVISOL DÉGRADÉ planosolique, dystriatique, albique, issu d'alluvions anciennes  
PLANOSOL TYPIQUE pédomorphe, dystriatique, issu d'argiles glauconieuses albiennes  
SULFATOSOL humifère, rubique, de mangrove  
COLLUVIOSOL recarbonaté, argileux, fersiallitique, de doline  
BRUNISOL OLIGO-SATURÉ humifère, cultivé, argilo-sableux, issu de grès permien  
PÉLOSOL-RÉDOXISOL de bas de versant (*double rattachement*)





## LISTE DES HORIZONS DE RÉFÉRENCE PRÉSENTÉS DANS CET OUVRAGE

A	Horizons A	Amg A magnésique	And A silandique
	Aca A calcaire	Ach A chernique	Alu A aluandique
	Ado A dolomitique	Ahs A sombrique	Aal A aluminique
	Aci A calcique	An A d'anmoor	Avi A vitrique
BT	B ARGILLUVIAL	BTd = BT dégradé	BTβ = BT bêta
BP	B PODZOLIQUE	BPh = BP humique	
		BPs = BP sesquioxidyque	
C	Horizon C		
E	Horizon ÉLUVIAL	Ea = horizon éluvial albique	
FE	Horizons FERRIQUES	FEm = horizon pétro-ferrique	
		FEmp = horizon placique	
FS	Horizon FERSIALLITIQUE		
G	Horizon RÉDUCTIQUE		
g	Horizon RÉDOXIQUE		
H	Horizons HISTIQUES	Hf H fibrique	Hm H mésique
		Hs H saprique	Ha H assaini
Js, Jp	Horizons « jeunes » atypiques		
K, Kc	Horizons CALCARIQUES	Km = horizon pétro-calcarique	
L	Horizons LABOURÉS	LA, LE, LS, LBT, LO, LH, etc.	
Na	Horizon SODIQUE		
O	Horizons ORGANIQUES	OL - OF - OH - OHta	
S	Horizons STRUCTURAUX		
	Sca S calcaire	Smg S magnésique	Snd S silandique
	Sdo S dolomitique	Sp S pélosolique	Slu S aluandique
	Sci S calcique	SV S vertique	Sal S aluminique
Sa	Horizon SALIQUE		
Si	Horizon SILICIQUE	Sim horizon pétro-silicique	
U	Horizon SULFATÉ		
V	Horizon VERTIQUE SPHÉNOÏDE		
Xc et Xp	Horizons CAILLOUTIQUE et PIERRIQUE		
Y	Horizons GYPSIQUES	Ys = Y de surface	Yp = Y de profondeur
		Ym = horizon pétro-gypsique	

**Couches et matériaux**

D	Couches D
M	Couches M
R	Couches R
Mli	Matériau limnique (Histosols)
Mt	Matériau terreux (Histosols)
TH	Matériau THIONIQUE

**Lettres suffixes qui peuvent être ajoutées à tous les types d'horizons**

- h horizon plus humifère que la norme      Exemples : Ah, Eh, BTh, ScAh, Salh, etc.
- g horizon à caractère rédoxique              Exemples : BTg, Sg, ScAg, Cg, etc.
- cr cryoturbé
- b (*buried*) horizon situé sous un apport naturel ou artificiel de plus de 50 cm d'épaisseur et qui, normalement, devrait être situé en surface ou presque en surface.

**Lettres suffixes qui peuvent être ajoutées à certains horizons (horizons intergrades)**

	Exemples
- v à caractères vertiques	Av, Sv, Cv
- y contenant du gypse	Cy, Sy, Vy
- k début d'accumulation de calcite secondaire	Scak, Vk, Ck
- d « dégradé »	BTd, Sd
- x à caractères fragiques	Ex, Sx, BTx
- t illuviation d'argile débutante ou importante	St, Ct, FSt
- cn accumulation de concrétions ou nodules sesquioxidiques	BTcn
- j à caractère xanthomorphe	Sj, Scij, BTj
- s à accumulation de sesquioxydes	BPs

**Subdivision d'un horizon en sous-horizons**

Utilisation de chiffres-suffixes 1, 2, 3... de haut en bas, sans autre signification que leur ordre d'apparition.

Exemple : A1, A2                      S1, S2, S3.

**Superposition de plusieurs matériaux (= discontinuités lithologiques)**

Utilisation de chiffres romains (le I est omis). Système international.

Exemple : A / S / II C / III R

# DÉFINITION DES HORIZONS DE RÉFÉRENCE

## Les horizons organiques O

Horizons **holorganiques** constitués principalement de débris ou fragments végétaux morts (feuilles, aiguilles, racines, matériels ligneux) plus ou moins transformés, **formés en conditions aérobies** ; toujours situés à la partie supérieure des solums, au-dessus des autres horizons ou couches.

On distingue trois types d'horizons O qui se différencient les uns des autres par l'état moyen de transformation des débris végétaux lié à l'activité biologique du sol : OL, OF, OH.

Les distinctions OL, OF, OH sont indispensables, mais les distinctions plus fines en sous-horizons sont facultatives et réservées aux spécialistes ; elles ne servent pas à la définition des principales formes d'humus.

### Horizon OL

Horizon constitué de débris foliaires non ou peu évolués et de débris ligneux. La forme originelle des débris est aisément reconnaissable à l'œil nu. Cet horizon ne contient pas de matière organique fine (amas de matière organique sans débris figurés visibles à l'œil nu). Situé à la partie supérieure des horizons O, il peut reposer directement sur un horizon A ou être superposé à un horizon OF. On distingue trois sous-horizons OL selon l'état et le mode de transformation des débris.

OL<sub>n</sub> (n = neue : neuve)

Restes végétaux n'ayant pas encore subi de transformation nette ; les feuilles ou les aiguilles sont encore entières, seule leur couleur peut avoir changé (brunissement). C'est la « litière fraîche », couche à structure lâche, susceptible de remaniements par le vent. Sur les sols à forte activité biologique, cet horizon peut n'exister que de l'automne au début du printemps et disparaître ensuite.

OL<sub>v</sub> (v = verändert : changé ; verwittert : altéré ; ou verbleicht : décoloré)

Débris végétaux peu fragmentés mais visiblement modifiés depuis le moment de leur chute (couleur, cohésion, dureté). Ces transformations

résultent essentiellement de l'activité des champignons. Lorsqu'il existe, l'horizon OL<sub>v</sub> se situe à la base d'un horizon OL<sub>n</sub> et repose soit directement sur un horizon A soit sur un horizon OF. Il se distingue de l'horizon OL<sub>n</sub> par sa couleur et par une densité et une cohésion plus élevées. Les éléments foliaires, pris isolément, sont souvent plus minces et plus tendres ; il y a squelettisation, décoloration et ramollissement des tissus. Des mycéliums blancs peuvent être très abondants dans certains cas.

#### OL<sub>t</sub> (t = transition)

Débris foliaires non nettement transformés (transformations identiques à celles de l'horizon OL<sub>n</sub>) mais nettement fragmentés, ce sont les restes non consommés par les vers de terre anéciques. La proportion de débris ligneux peut y être importante. Horizon discontinu, à faible cohésion. Lorsqu'il existe, il se situe à la base d'un horizon OL<sub>n</sub> ou dès la surface lorsque celui-ci a disparu. OL<sub>t</sub> repose directement sur un horizon A. Il peut même être plus ou moins recouvert par des turricules de vers de terre. Cet horizon est lié aux sols à forte activité biologique.

### Horizon OF

Horizon formé de résidus végétaux, surtout d'origine foliaire, plus ou moins fragmentés, reconnaissables à l'œil nu, en mélange avec des proportions plus ou moins grandes (moins de 70 % en recouvrement visuel) de matière organique fine. Cette dernière se trouve sous la forme de boulettes fécales constituées essentiellement de matière organique sans débris figurés visibles à l'œil nu. Ce sont des amas holorganiques de formes variables (sphéroïdes, ovoïdes, etc.) de quelques dizaines de  $\mu\text{m}$  à 1 ou 2 mm de diamètre ; ils sont formés de matériel majoritairement végétal ou fongique, microfragmenté et aggloméré. Cet horizon est souvent parcouru par un réseau racinaire fin plus ou moins abondant et par des mycéliums.

Le degré de fragmentation n'intervient pas dans la définition de cet horizon qui se distingue de l'horizon OL par la présence de matière organique fine.

*Remarque :* dans le cas d'une litière d'aiguilles de résineux, la détermination de la matière organique fine n'est pas toujours évidente : les boulettes fécales peuvent se situer à l'intérieur des aiguilles ; en effet, l'attaque par la mésofaune (Oribates) de celles-ci se fait, au début, sous forme d'un tunnelage emprisonnant les boulettes fécales (un examen micromorphologique complémentaire peut être nécessaire pour ces litières).

On observe donc dans cet horizon un mélange de débris de feuilles, de résidus squelettisés, de racines fines, de déjections animales, de mycéliums, etc.

Lorsqu'il existe, l'horizon OF se situe en dessous d'un horizon OL ; sa couleur est plus claire, les débris végétaux sont imbriqués d'une manière très dense. L'activité des vers de terre anéciques est réduite et la transformation provient essentiellement de l'activité de la faune épigée et des champignons.

On distingue deux sous-horizons OF selon l'état de transformation des débris végétaux avec, pour chacun, un type particulier à mycéliums.

**OFr** Partie supérieure de l'horizon OF comportant des restes foliaires très reconnaissables, plus ou moins fragmentés, avec une faible proportion de matière organique fine (moins de 30 % en volume). Il y a destruction des tissus foliaires mais on observe encore, souvent, des « paquets » de feuilles plus ou moins densément agglomérées (structure en « tapis », « natte », etc.).

**OFm** Horizon comportant en quantités équivalentes des restes foliaires fragmentés et des amas de matière organique fine (30 à 70 % en volume). La pulvérisation des débris végétaux est très poussée. Les « paquets » de feuilles ne s'observent que rarement. Les racines fines et les champignons mycorhiziens peuvent être abondants.

Le passage de OFr à OFm est en général très progressif.

**OFrc, OFmc ou OFc** : « horizons à structure mycogène »

Horizons de type OFr et OFm comportant en proportion variable de la matière organique fine et des résidus végétaux et se caractérisant par une grande quantité de filaments mycéliens vivants ou morts emballant les débris végétaux entre eux. Ces filaments mycéliens peuvent être très abondants en volume et rendre difficile la distinction entre OFrc et OFmc (horizon OFc).

## Horizon OH

Horizon contenant plus de 70 % en volume de matière organique fine. Celle-ci se trouve sous forme de boulettes fécales et/ou de microdébris végétaux et mycéliens sans structure reconnaissable à l'œil nu. Ce pourcentage est évalué hors racines fines (mortes ou vivantes) qui sont souvent très abondantes. Il se présente comme un produit assez homogène de teinte brun-rougeâtre à noire, à structure continue ou granulaire ou fibreuse. La présence de grains minéraux visibles à l'œil nu est possible.

Suite à des brassages fauniques modérés et à sa faible épaisseur, l'horizon OH contient souvent de faibles proportions (en volume) de minéraux silicatés. En conséquence, certains horizons OH peuvent ne pas répondre aux critères analytiques (en poids) des horizons holorganiques.

Quand il existe, il se situe sous un horizon OF ; le passage entre les horizons OF et OH est en général assez rapide. Cet horizon est souvent nettement plus cohérent que les horizons sus-jacents. On distingue quatre sous-horizons OH :

**OHr** Horizon OH contenant entre 70 et 90 % de matière organique fine en mélange avec des résidus foliaires fortement fragmentés mais reconnaissables. Les racines fines peuvent être abondantes. Il repose soit sur un horizon OHf soit sur un horizon A.

**OHf** Horizon OH contenant moins de 10 % de débris végétaux reconnaissables. Quand il existe, il succède à un horizon OHr et repose sur un horizon organo-minéral, voire minéral.

**OHc** Horizon OH à structure mycogène : envahi par un abondant réseau mycélien, vivant ou mort, emballant la matière organique fine.

**OHta** (horizon de tangel) : horizon de consistance grasse et tachant les doigts, constitué de déjections animales, biostructuré mais à micro-agrégats qui résultent de l'activité de vers épigés.

Décrit généralement sur roches-mères calcaires comme saturé à plus de 80 % par  $\text{Ca}^{++}$  et/ou  $\text{Mg}^{++}$  avec un pH compris entre 5,5 et 7. Mais il pourrait également exister sur roches-mères acides. Il correspond à des milieux aérobies à activité faunique importante mais en conditions climatiques contraignantes (en particulier altitude).

Horizons O et horizons A sont superposés selon différents « épisolums humifères » ou « formes d'humus » (cf. annexe 1).

## Les horizons histiques H

Horizons holorganiques formés en milieu saturé par l'eau durant des périodes prolongées (plus de 6 mois dans l'année) et composés principalement à partir de débris de végétaux hygrophiles ou sub-aquatiques.

En raison de la constitution holorganique des horizons H, des méthodes analytiques spécifiques doivent être employées pour les caractériser (cf. annexe 3 « Méthodes d'analyse » et chapitre HISTOSOLS). En revanche, la méthode Anne de dosage du carbone organique n'est pas appropriée aux horizons H.

Les horizons holorganiques H présentent une « perte au feu » à 600 °C (éventuellement corrigée en présence de carbonates) supérieure à 50 g/100 g.

Les horizons H peuvent reposer sur ou être interstratifiés dans des horizons minéraux mais, le plus souvent, ils reposent directement sur un substrat qui peut être très profond. On peut aussi les observer flottant sur l'eau.

Plusieurs horizons H se superposent et se distinguent par leur fonctionnement. Ils se différencient principalement et sont définis par leur taux de fibres frottées et le degré de décomposition du matériel végétal. On appelle « fibres frottées » les débris organiques à structures végétales reconnaissables, retenus sur un tamis de 200  $\mu\text{m}$  après tamisage sous un courant d'eau.

Le degré de décomposition du matériel s'apprécie sur le terrain par la couleur du liquide qui s'écoule quand on presse un échantillon (échelle de Von Post). Au laboratoire, on emploie « l'indice pyrophosphate » (cf. annexe 3).

### Horizon H fibrique (Hf)

Il contient au moins 40 g/100 g (en poids sec) de fibres frottées ; décomposition nulle à très faible des débris végétaux ; structures végétales facilement identifiables : sphaignes, roseaux, carex, joncs, mousses, bois... Absence de matière organique amorphe. Degré de 1 à 3 de l'échelle de Von Post. Quand on presse un échantillon, le liquide qui s'écoule est clair et limpide. Le résidu n'est pas pâteux. La densité apparente est inférieure à 0,1.

### Horizon H mésique (Hm)

Il contient de 10 à 40 % de fibres frottées. La décomposition du matériel végétal est moyenne à forte ; les structures végétales sont difficilement identifiables ou même indistinctes, la proportion de matière organique amorphe est moyenne à élevée. Degré de 4 à 7 dans l'échelle de Von Post. Quand on presse un échantillon, le liquide qui s'écoule est trouble et brun, le résidu est légèrement pâteux. La densité apparente est comprise entre 0,07 et 0,18.

### Horizon H saprique (Hs)

Il contient moins de 10 % de fibres frottées. Décomposition forte à totale du matériel végétal. Les structures végétales ne sont plus discernables. La proportion de matière organique amorphe est très élevée. Degré de 8 à 10 dans l'échelle de Von Post. Le matériel noir, gras, tachant les doigts, à structure continue, passe presque en totalité entre les doigts. Le liquide qui s'écoule est noir. Le résidu est très peu important et formé de quelques débris ligneux, non décomposés. La densité apparente est supérieure à 0,18.

### Horizon H assaini (Ha) - Horizon H labouré (LH)

Horizons formés de matière organique très décomposée, de couleur foncée. Un abaissement du niveau de la nappe, avec (horizon LH) ou sans mise en culture (horizon Ha), entraîne une forte structuration. C'est un « *muck* » au sens américain du terme. Souvent, sur ces horizons, il n'est pas possible de déterminer le taux de fibres frottées. Ils se caractérisent par un indice pyrophosphate > 50, une faible porosité et une faible capacité de rétention en eau.

## Les horizons A

Horizons « organo-minéraux » ou « hémiorganiques », c'est-à-dire contenant en mélange de la matière organique et de la matière minérale ; situés à la base des horizons holorganiques lorsqu'ils existent, sinon à la partie supérieure du solum.

Les horizons A présentent une structuration pédologique généralisée d'origine biologique (action de la faune et/ou des racines et/ou des matières organiques).

Un horizon A présente obligatoirement l'un des trois modes majeurs d'incorporation et de liaison de la matière organique à la matière minérale définis ci-dessous :

- les horizons **A biomacrostructurés** correspondent à des conditions physico-chimiques et pédoclimatiques permettant une intense activité biologique ; ils résultent d'un brassage biologique par les vers de terre de la tota-



lité de la masse humique avec des particules minérales ; la structure, d'origine biologique, est grumeleuse. Les liaisons matière organique - matière minérale (« complexe argilo-humique ») sont fortes, soit biogènes (humine organo-argilique issue d'une digestion des pigments bruns par les vers de terre) soit, minoritairement, physico-chimiques par insolubilisation des molécules organiques solubles par les hydroxydes et les minéraux phylliteux du sol (humine d'insolubilisation). L'humine microbienne est abondante ;

- les horizons **A d'insolubilisation** correspondent à des conditions de faible activité des vers de terre, relayée par une forte activité mycolytique ; il n'y a pas de macro-structuration biologique : la structure, microgrumeleuse, résulte de précipitations physico-chimiques. Les conditions physico-chimiques (fer, argile) permettent une forte insolubilisation des molécules solubles : l'humine d'insolubilisation est majoritaire, l'humine microbienne encore notable, l'humine organo-argilique rare ou absente dans les complexes argilo-humiques ;

- les horizons **A de juxtaposition** correspondent aux épisolums à faible activité biologique, sans activité notable de vers de terre. Le milieu ne permet pas l'insolubilisation en A des molécules solubles qui peuvent participer alors à l'acidocomplexolyse. Il n'y a pas d'humine d'insolubilisation, ni organo-argilique ; l'humine microbienne est peu abondante, les complexes argilo-humiques rares ou absents. La matière organique est sous forme d'humine héritée majoritaire (digestion quasi nulle des pigments bruns par la faune du sol), sous forme de **boulettes fécales juxtaposées aux particules minérales**.

Lorsqu'un horizon A de ce type fait partie d'un épisolum forestier de type moder, sa limite avec l'horizon OH est très graduelle et difficile à fixer. On peut définir si on le souhaite un horizon de transition (horizon OAh des pédologues belges).

Bien sûr, tous les intermédiaires entre les 3 types précédents peuvent être observés.

Les types fonctionnels d'humus les moins actifs se caractérisent quelquefois par une quasi absence d'horizon A ; l'horizon minéral de surface peut cependant être traversé par des molécules organiques solubles « en transit » pouvant lui donner une coloration notable. Ce sont des horizons humifères à matière organique « de diffusion » (notation, par exemple : Eh, Sh).

En outre, certains horizons A sont caractérisés par un blocage de la minéralisation secondaire : dans certains milieux, des taux de minéralisation extrêmement faibles ont pour conséquence une accumulation forte de matière organique, parfois sur plusieurs décimètres (horizons A humifères épais, de couleur noire, formes d'humus dites « humiques ») : ces types fonctionnels d'humus sont très variables selon leur rattachement aux types précédents (horizons A humifères biomacrostructurés ou de juxtaposition) et la cause du blocage :

- stabilisation en association avec des surfaces minérales actives :
  - $\text{CaCO}_3$  (formes d'humus carbonatées),
  - allophanes (formes d'humus à caractères andiques), etc.

- stabilisation ou blocage dus aux conditions pédoclimatiques (CHERNO-SOLS, anmoor, etc.),
- association possible des deux types de facteurs (saturation en calcium et régime hydrique, par exemple).

Suite à la mise en culture, les horizons A labourés peuvent conserver les principales propriétés décrites précédemment : ils sont alors notés LA. D'autres perdent ces propriétés : ils sont alors notés L. Sous culture, tous les horizons de surface ne sont pas forcément des horizons LA : il peut s'agir de LE, LS, voire LBT ou LBP en cas de solums tronqués.

Outre l'horizon A « simple » ou « haplique », il existe un certain nombre d'horizons A particuliers, présentés ci-dessous.

### **Horizon A calcaire (Aca)**

Horizon A biomacrostructuré présentant une effervescence à HCl généralisée à froid ( $> 5\%$  de  $\text{CaCO}_3$  au delà de 5 cm de profondeur). La matière organique et les éléments minéraux forment un complexe stable ; le taux de carbone organique est compris entre 1 et 8 %. La structure est bien développée, fine, de type grumeleuse, grenue ou polyédrique. La teinte est comprise entre 7,5 YR et 2,5 Y (bornes comprises) ; *value* et *chroma* égales ou inférieures à 4 mais, s'il y a plus de 40 % de calcaire, la *value* peut être supérieure à 4. Il n'y a pas de taches d'oxydo-réduction. Le pH est compris entre 7,0 et 8,7 (bornes comprises) et le complexe adsorbant est saturé (rapport S/T  $> 95\%$ ) principalement par  $\text{Ca}^{++}$ . L'horizon Aca comporte souvent des éléments grossiers calcaires.

### **Horizon A dolomitique (Ado)**

Horizon A carbonaté ne faisant pas effervescence à froid ou très faiblement dans la terre fine. Effervescence généralisée seulement à chaud.  $\text{MgCO}_3$  est du même ordre de grandeur que  $\text{CaCO}_3$  ou est dominant (rapport molaire  $\text{CaCO}_3/\text{MgCO}_3 < 1,5$ ).

### **Horizon A calcique (Aci)**

Horizon A biomacrostructuré, non carbonaté dans la terre fine ou seulement ponctuellement ou localement, comportant peu ou ne comportant pas d'éléments grossiers calcaires. Le complexe adsorbant est saturé ou subsaturé (rapport S/T  $> 80\%$ ) principalement par  $\text{Ca}^{++}$  qui domine largement (rapport  $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++} > 5$ ). Taux de carbone organique inférieur à 8 %. *Value* très variable et teinte de 5 YR à 2,5 Y bornes comprises.

Il existe des horizons A saturés, subsaturés ou resaturés, **calcimagnésiques** (rapport  $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$  compris entre 5 et 2).

### Horizon A magnésique (Amg)

Horizon A non carbonaté mais saturé ou subsaturé, où le rapport  $Ca^{++}/Mg^{++}$  est  $< 2$ .

### Horizon A chernique (Ach)

Horizon A riche en matières organiques très évoluées, dont la teneur diminue progressivement avec la profondeur (caractère « clinohumique »). En conditions de végétation permanente, la teneur en carbone est d'au moins de 3 % dans les 10 premiers centimètres pour une texture argilo-limoneuse. Les acides humiques (surtout acides humiques gris) et l'humine sont plus abondants que les acides fulviques.

L'horizon Ach présente une couleur noire : sa *value* à l'état humide est inférieure à 3,5 dans l'ensemble de l'horizon. Cette couleur est plus foncée que celle de l'horizon sous-jacent, sauf dans certains cas d'horizons de surface labourés. Son *chroma* à l'état pétri humide est égal ou inférieur à 2.

Le Ach est généralement non calcaire ; il peut l'être faiblement (moins de 5 %).

En conditions de végétation permanente, la structure est grenue, grumeleuse ou polyédrique subangulaire fine ou très fine ou à sous-structure fine (agrégats  $< 2$  mm). Cette structure caractéristique est due notamment à de fréquents brassages d'origine biologique. Elle peut être partiellement ou totalement dégradée en surface par la mise en cultures (horizon LAh agricompacté, à structure polyédrique grossière et tendance massive).

Le complexe adsorbant est saturé ou sub-saturé, principalement par le calcium ; le pH est compris entre 6,0 et 8,3.

L'horizon Ach est relativement meuble et poreux, il permet un bon enracinement profond, il présente habituellement une capacité de rétention élevée pour l'eau. Gelé pendant l'hiver, plus ou moins engorgé au dégel, il connaît ensuite des successions d'humectations et de dessiccations plus ou moins prolongées qui influent sur la maturation de l'humus.

### Horizon A sombrique (Ahs)

Horizon A, non calcaire, présentant tous les caractères ci-dessous :

- très riche en matières organiques très évoluées qui proviennent de l'humification *in situ* de la litière et des racines les plus fines sous une végétation de prairie ; teneurs en carbone organique  $> 1,2$  % dans les 20 premiers centimètres, généralement entre 1,7 et 3 % sous végétation permanente ; rapport C/N compris entre 8 et 10 ; rapport acides humiques/acides fulviques supérieur à 1 avec une proportion d'humine importante. Les acides humiques sont principalement de type gris ;

- couleur sombre ou noire à l'état humide (*chroma*  $< 4$  et *value*  $< 4,5$  mais 4/3 exclue) ;

- la structure ou la sous-structure est de type polyédrique fine ou très fine (< 5 mm), parfois subangulaire, voire grumeleuse ;
- l'aération est bonne, liée à une grande activité biologique ;
- sous végétation permanente, le complexe adsorbant est nettement insaturé au moins dans sa partie supérieure (S/T compris entre 50 et 80 %). Le  $pH_{\text{eau}}$  est compris entre 5,5 et 6,5.

### **Horizon An (A des anmoors)**

L'horizon An des anmoors est un horizon noir épais (jusqu'à 30 cm), parfois très riche en carbone organique (> 20 %), à consistance plastique et structure massive en période d'engorgement, biomacrostructuré en période d'abaissement de la nappe. Cet horizon se forme sous l'influence d'un engorgement prolongé par une nappe permanente à faible battement.

L'incorporation de la matière organique est due à une forte activité d'animaux fousseurs (vers de terre, larves d'insectes) lors des périodes estivales où le niveau de la nappe baisse. Cette activité n'aboutit pas à une structuration durable de l'horizon (déstabilisation par l'engorgement).

L'examen microscopique montre une abondance d'éléments organiques figurés. Les liaisons matières organiques-argiles conduisent à des complexes moins stables et moins condensés que dans les A des mulls. Le rapport C/N est faible (12 à 18).

### **Horizon A vitrique (Avi)**

Horizon peu altéré, formé à partir d'un matériau pyroclastique, encore riche en verres volcaniques et autres minéraux primaires non altérés (plus de 60 % des fractions sables et limons). C'est un horizon de surface mais qui peut être enfoui sous plusieurs décimètres de produits pyroclastiques récents. Il contient moins de 10 % d'argile et plus de 0,6 % de carbone organique. Ses caractéristiques physiques et chimiques sont :

- une densité apparente comprise entre 0,9 et 1,2,
- une capacité de rétention de l'eau à 1 500 KPa inférieure à 25 %,
- une valeur  $Al_{\text{ox}} + 1/2 Fe_{\text{ox}}$  comprise entre 0,4 et 2 %,
- une rétention du phosphore inférieure à 85 % (cf. chapitre ANDOSOLS et VITROSOLS).

### **L'horizon éluvial E**

Horizon minéral ou organo-minéral, appauvri en fer et/ou en minéraux argileux phylliteux et/ou en aluminium, avec concentration corrélative en minéraux résistants. C'est un horizon d'éluviation par entraînement vertical, oblique ou latéral. Directement mobiles ou libérées par altération, les

matières quittent cet horizon sous forme de solutions ou de suspensions et se dirigent vers des horizons BT ou BP et/ou hors du solum. L'horizon E est beaucoup moins riche en carbone organique que l'éventuel horizon A sus-jacent. Il est nettement moins argileux, moins bien structuré et moins coloré que l'horizon BT, BP ou S sous-jacent ou correspondant latéralement.

Eg : horizon E présentant des taches et/ou indurations de teinte rouille et/ou nodules noirs ferro-manganiques plus ou moins indurés.

Ea albique : horizon E où l'intensité de l'appauvrissement a provoqué la disparition presque totale des argiles et oxydes de fer libre, ou dont ces éléments se sont individualisés de façon telle que la couleur très claire de l'horizon est déterminée par celle des particules primaires de limons et de sables plutôt que par des revêtements sur ces particules.

Eh : horizon E coloré en gris par suite de l'abondance de matières organiques (en général matières organiques de diffusion).

## Les horizons BT et BP

Horizons minéraux ou organo-minéraux à structuration pédologique généralisée, non formés en surface, caractérisés par une accumulation absolue de matières par rapport aux autres horizons présents dans le solum (A, E, S, C, etc.). En règle générale, un horizon E ou A est présent au-dessus d'eux dans le solum, mais il peut avoir été érodé et ne plus exister. Dans les horizons BT et BP, il y a un **enrichissement** (en fer et/ou argile et/ou aluminium et/ou humus) qui peut être dû :

- uniquement à des apports en provenance d'autres horizons superposés verticalement ou situés latéralement (**apports illuviaux**) ;
- ou à la combinaison d'apports illuviaux et de transformations sur place de minéraux pré-existants (**altération**).

### L'horizon argilluvial (BT) (anciennement B « textural »)

Horizon qui contient des argiles phylliteuses **illuviales** et qui se forme en relation avec un horizon éluvial E lequel se trouve au-dessus de lui ou en amont. Le BT peut se trouver en surface si le solum a été partiellement tronqué. Il présente les caractères suivants :

- une teneur en argile supérieure à celle des horizons A, E, S ou C qui sont présents dans le même solum ;
- une épaisseur d'au moins 15 cm. S'il est composé entièrement de « bandes », leur épaisseur doit être égale ou supérieure à 1 cm et atteindre, au total, 15 cm ;
- dans les sols à structure particulière, l'horizon BT doit présenter des argiles orientées reliant les grains de sables entre eux et décelables également dans certains pores ;
- lorsqu'il existe des agrégats (cubes, polyèdres, prismes), présence de nombreux revêtements argileux sur certaines surfaces : faces d'agrégats ver-

tiques et horizontales, chenaux, canalicules. Une observation microscopique est souvent nécessaire. Il s'agit de matières essentiellement argileuses et ferriques, généralement bien orientées par rapport aux parois et dont la nature et l'organisation contrastent par rapport à la matrice.

Très souvent, dans leur déplacement, les particules argileuses sont accompagnées par des particules limoneuses fines. Dans certaines circonstances particulières (milieux dominés par le gel), cette illuviation de particules limoneuses peut devenir dominante (cf. qualificatif limono-illuvial).

#### **Horizon BT dégradé (BTd)**

Horizon BT présentant une « dégradation morphologique » sous une forme diffuse, sous forme d'**interdigitations** ou sous la forme de pénétration de **langues**. L'interdigitation désigne des pénétrations d'un horizon E dans un horizon BT sous-jacent le long des faces des unités structurales, essentiellement verticales. Ces pénétrations ne sont pas assez larges pour constituer des langues, mais forment des concentrations relatives continues d'éléments du squelette.

Pour être appelées langues, ces pénétrations doivent être plus profondes que larges, avoir des dimensions horizontales minimales dépendant de la texture de l'horizon BT : de 5 mm dans les matériaux argileux à 15 mm dans les matériaux limoneux à sableux, et présenter une occupation en volume supérieure à 15 % de la partie de l'horizon BT affectée.

#### **Horizon BT labouré (LBT)**

Horizon BT se présentant en surface suite à une troncature partielle du solum par érosion et remanié régulièrement par des actions culturales. Les caractéristiques typiques du BT sont associées à celles des horizons labourés : teneur en matière organique plus élevée, artificialisation de la structure, prise en masse éventuelle.

#### **Horizon BT « bêta » (BT $\beta$ )** (rédaction J. Ducloux)

Cet horizon se forme au contact d'une roche carbonatée non argileuse (craies, calcaires), en dessous d'horizons BT typiques.

Il présente les caractères suivants :

- teinte plus foncée que le BT sus-jacent (*value* Munsell 4 à 3) ;
- structure polyédrique sub-anguleuse à anguleuse fine, avec quelques faces brillantes ;
- transitions toujours nettes mais irrégulières, notamment avec le BT sus-jacent ;
- teneur en argile totale supérieure à celle des horizons qui l'encadrent (y compris fraction insoluble du matériau carbonaté) ;
- teneur en argile fine (< 0,1  $\mu\text{m}$ ) supérieure elle aussi ;

- un stock argileux contenant toujours des minéraux gonflants plus ou moins abondants, plus abondants que dans le BT sus-jacent et que dans le matériau carbonaté sous-jacent ;
- une porosité totale au moins deux fois plus grande que celle de l'horizon BT ;
- un degré d'illuviation très important (somme cutanes + papules),
- une teneur en matières organiques au moins deux fois plus grande que celle de l'horizon BT immédiatement sus-jacent.

L'horizon « bêta » apparaît donc comme un horizon d'illuviation, d'où sa notation BT $\beta$ .

Les minéraux argileux sont issus, pour leur plus grande part, de leur illuviation en provenance des horizons supérieurs et s'accumulent en gros revêtements plissés. La matière organique provient de la migration de molécules simples élaborées en surface et qui précipitent sous forme calcique et polymérisent à l'interface avec la roche calcaire. Ces accumulations sont en rapport avec des conditions physico-chimiques très différentes de celles qui existent dans les horizons BT habituels. Il s'agit :

- de conditions hydriques particulières (cf. Bartelli et Odell),
- de conditions chimiques nouvelles, puisqu'il y a passage d'un milieu neutre ou acide à un milieu carbonaté.

L'horizon BT « bêta » ne doit pas être confondu avec des horizons argileux d'altération de certaines roches calcaires, formés sous couvertures pédologiques perméables. De tels horizons ne présentent en général pas de lien pédogénétique avec les sols développés au-dessus d'eux, c'est pourquoi ils seront notés II S.

### **L'horizon podzolique (BP)**

Cet horizon est caractérisé par une accumulation absolue de produits amorphes constitués par des matières organiques et de l'aluminium, avec ou non du fer. Il présente en outre les caractères suivants :

#### **Souvent**

- une micro-structure pelliculaire, les revêtements étant constitués de matière organique amorphe (monomorphe) associée à l'aluminium et, éventuellement, au fer ;
- une cimentation continue d'une partie de l'horizon par des constituants amorphes organiques associés à l'aluminium et, éventuellement, au fer.

#### **Toujours**

- une teinte de 7,5 YR ou plus rouge à l'état humide (condition nécessaire mais pas suffisante) ;
- un taux d'aluminium et/ou de fer extractibles à l'oxalate d'ammonium ( $Al_{ox}$  et  $Fe_{ox}$ ) tels que  $Al_{ox}$  et  $Fe_{ox}$  en BP soient supérieurs à  $Al_{ox}$  et  $Fe_{ox}$  en A ou E ;
- une fraction majoritaire de matières organiques extractibles au pyrophosphate de Na 0,1 M ; dans cette fraction extractible, les acides fulviques

sont essentiellement de type polyphénolique (séparation sur résine polyvinyl-pirrolidone). En absence de ces informations, on peut utiliser le critère suivant : densité optique de l'extrait oxalique au moins deux fois supérieur en BP qu'en A et supérieur à 2,5.

La morphologie et les caractéristiques analytiques des horizons BP sont susceptibles de varier largement. On distingue notamment des horizons BP cimentés (alios, ortstein) et des horizons BP meubles ou friables. Certains BP ont une teneur élevée en carbone, relativement aux teneurs en Al et Fe extractibles (horizons BP humifères) ; d'autres ont une teneur plus faible et Al et Fe extractibles sont alors dominants (horizons BP sesquioxydiques). Ces deux types d'horizons BP peuvent exister dans un même solum, dans ce cas l'horizon BP humifère (BPh) est situé au-dessus de l'horizon BP sesquioxydique (BPs).

En relation avec la dynamique de l'eau dans le sol, une ségrégation des accumulations de fer par rapport aux accumulations de matières organiques et d'aluminium peut être observée. Ces ségrégations prennent la forme soit de nodules ferrifères soit d'un horizon placique.

## **Les horizons structuraux S**

Les horizons structuraux S sont typiquement des **horizons pédologiques d'altération**. Ils sont le siège de processus nets tels que altération des minéraux primaires, libération d'oxy-hydroxydes de fer, décarbonatation, etc. Tout cela se traduit par une structuration pédologique généralisée, une couleur différente, une certaine néoformation (ou libération) de minéraux argileux phylliteux.

Il peut y avoir, au sein d'un horizon S, des redistributions internes de matières ( $\text{CaCO}_3$ , argile), mais il ne s'agit pas d'accumulations illuviales. C'est en cela que les horizons S diffèrent des horizons BT et BP. Les horizons S diffèrent des horizons A car ils ne sont pas le siège de l'humification primaire et qu'ils ne présentent pas une structuration d'origine biologique. Ils diffèrent des horizons E car ils ne sont pas appauvris en minéraux argileux ni en fer et qu'en conséquence, ils présentent une structuration pédologique nettement plus affirmée et une couleur différente.

Outre l'horizon S « simple » ou « haplique », il existe un certain nombre d'horizons S particuliers, présentés ci-dessous.

### **Horizon S pélosolique (Sp)**

Horizon S très argileux (plus de 45 % d'argile) présentant une sur-structure prismatique ou polyédrique grossière bien visible en période sèche. Les fentes de retrait sont nettes en été, les caractères vertiques presque toujours présents, plus ou moins visibles selon la saison. Cet horizon n'est jamais calcaire même sur roche-mère carbonatée. Le complexe adsorbant peut être



saturé ou déjà partiellement désaturé. Cet horizon présente un comportement physique et hydrique particulier, spécifique des PÉLOSOLS.

### Horizon S calcaire (Sca)

Horizon S présentant une effervescence à HCl généralisée à froid. Teneur en  $\text{CaCO}_3$  inférieure à celle de l'horizon sous-jacent mais supérieure ou égale à 5 %. Complexe adsorbant saturé (rapport S/T > 95 %) principalement par  $\text{Ca}^{++}$ . Cet horizon comporte souvent des éléments grossiers calcaires et, éventuellement, dolomitiques. Sa structure, généralisée, est polyédrique, fine ou grossière, ou prismatique. Le taux de carbone organique est inférieur à celui de l'horizon sus-jacent et ne dépasse pas 1 % (sinon : notation Scah).

L'horizon Sca peut présenter des taches d'oxydo-réduction (Scag), des traits de redistribution du fer, d'argile et, souvent, de calcaire (Scak). Sa teinte est comprise entre 7,5 YR et 2,5 Y (bornes comprises).

Il existe des horizons S carbonatés **dolomitieux** dans lesquels le rapport molaire  $\text{CaCO}_3/\text{MgCO}_3$  est compris entre 1,5 et 8.

### Horizon S dolomitique (Sdo)

Horizon S carbonaté ne faisant pas effervescence à froid ou très faiblement dans la terre fine. Effervescence généralisée seulement à chaud.  $\text{MgCO}_3$  est du même ordre de grandeur que  $\text{CaCO}_3$  ou est dominant (rapport molaire  $\text{CaCO}_3/\text{MgCO}_3 < 1,5$ ).

### Horizon S calcique (Sci)

Horizon S non carbonaté dans la terre fine ou seulement ponctuellement ou localement. Structure généralisée, polyédrique fine ou grossière, ou prismatique. Le complexe adsorbant est saturé ou subsaturé (rapport S/T > 80 %) principalement par  $\text{Ca}^{++}$  qui domine largement (rapport  $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++} > 5$ ). L'horizon Sci peut présenter des traits d'oxydo-réduction ou de redistribution de fer ou d'argile. Le pH est supérieur à 6,5. La teinte est comprise entre 7,5 YR et 2,5 Y (bornes comprises).

Il existe des horizons S saturés, subsaturés ou resaturés, **calcimagnésiques** (rapport  $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$  compris entre 5 et 2).

### Horizon S magnésique (Smg)

Horizon S non carbonaté mais saturé ou subsaturé, où le rapport  $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$  est < à 2.

### Horizon S aluminique (Sal)

Il est défini par sa géochimie dominée par des composés minéraux de l'aluminium dans la solution du sol ( $Al^{+++}$ ,  $[Al(OH)_x]_n^{n(3-x)}$ ) et par une structure spécifique. Celle-ci résulte de la combinaison et/ou de l'association d'une structure polyédrique subanguleuse et d'une structure grumeleuse très fine (microgrumeleuse). Il se situe sous un horizon A désaturé ou oligo-saturé plus ou moins riche en matières organiques.

À l'examen micromorphologique, l'horizon Sal présente des micro-agrégats ronds ou ovoïdes de 30  $\mu m$  à plus de 100  $\mu m$ , libres ou plus ou moins agglomérés ; ces micro-agrégats sont colorés en jaune, ocre ou brun clair en lames minces.

Ses caractéristiques analytiques sont :

- pH acide ou très acide, < 5,0, tamponné par l'aluminium ;
- $Al^{+++}$  (extrait par KCl, N) varie de 2 à 8 cmol<sup>+</sup>/kg de terre fine ;
- $Al^{+++}$  représente de 20 à 50 % de la CEC ;
- rapport  $Al^{+++}/S > 2$ , pouvant atteindre 20 ;
- taux de saturation très faible, rapport  $S/T < 30$  % (le plus souvent < 20 %) ;
- dans la fraction argile, les vermiculites sont en majorité aluminisées sous forme de vermiculites hydroxy-alumineuses.

Suite à l'altération des minéraux primaires, l'horizon S aluminique présente souvent des taux d'argile supérieurs à ceux des horizons ou couches sous-jacentes. Il n'en demeure pas moins qu'un processus d'éluviation d'argile s'y développe souvent. C'est pourquoi cet horizon peut présenter, dans certains sites de sa partie inférieure, des traits d'accumulation d'argile, visibles en microscopie.

### Les horizons siliciques et pétro-siliciques Si et Sim

Les horizons siliciques et pétro-siliciques sont des horizons subsuperficiels cimentés par de la silice en quantité importante, voire dominante, à tel point que des fragments de l'horizon séché à l'air ne se délitent pas après immersion prolongée dans l'eau ou dans l'acide chlorhydrique. Leur degré de cimentation est variable suivant l'accumulation de silice. Celle-ci peut s'être déposée sur les parois des vides et des pores sous forme de revêtements visibles à la loupe à main mais peut être aussi une imprégnation de la matrice et une cimentation généralisée. Dans ce dernier cas, l'horizon devient très dur.

Les horizons siliciques et pétro-siliciques apparaissent surtout sous climats tropical et sub-tropical contrastés humides présentant une longue saison sèche de 4 à 6 mois. Ils sont observables sur matériaux volcaniques riches en silice comme les flux pyroclastiques ou les cendres volcaniques. La silice est libérée par altération des horizons de surface et précipite dans les horizons sous-jacents grâce à une circulation verticale ou hypodermique des solutions.

### Horizon silicique Si

Horizon d'accumulation de silice. Les formes de concentration sont discontinues ou continues faiblement indurées. Une porosité existe, colonisable par les racines.

### Horizon pétro-silicique Sim (« duripan »)

Horizon d'accumulation de silice. Les formes de concentration sont continues et indurées. Les racines sont incapables de pénétrer la masse de l'horizon.

## Les horizons réductiques G (cf. annexe 2)

Leur morphologie est à attribuer à la prédominance des processus de réduction et de mobilisation du fer suite à des engorgements permanents ou quasi-permanents. Dans les horizons réductiques, la répartition du fer est plutôt homogène. Lorsque la porosité et les conditions hydrologiques permettent le renouvellement de l'eau en excès, ces horizons s'appauvrissent progressivement en fer. Parfois, il peut y avoir déferrification complète et blanchiment de l'horizon (horizon G albe).

La morphologie des horizons réductiques varie sensiblement au cours de l'année en fonction de la persistance ou du caractère saisonnier de la saturation (battement de nappe profonde) qui les génère. D'où la distinction entre horizons réductiques *sensu stricto* et ceux temporairement réoxydés.

Les horizons réductiques *sensu stricto* (notés Gr) sont caractérisés par leur couleur qui peut être soit uniformément bleuâtre à verdâtre (sur plus de 95 % de la surface), soit uniformément blanche à noire ou grisâtre, avec un *chroma* inférieur ou égal à 2.

Dans les horizons réductiques temporairement réoxydés (notés Go) la saturation par l'eau est interrompue périodiquement. Des taches de teintes rouille (jaune-rouge, brun-rouge), souvent pâles, sont observables pendant les périodes de non saturation, au contact des vides, des racines, sur les faces de certains agrégats. Il y a une redistribution centrifuge du fer, migrant lors du dessèchement de l'horizon, de l'intérieur des agrégats vers leur périphérie. Cette ségrégation de couleurs est fugace, elle disparaît quand l'horizon est de nouveau saturé d'eau.

Une morphologie et un fonctionnement de type réductique peuvent se surimposer aux traits pédologiques résultant du développement (actuel ou ancien) d'autres processus de pédogenèse tels que l'humification ou l'illuviation, par exemple (horizons notés AG ou BTG).

## **Les horizons rédoxiques g ou -g** (cf. annexe 2)

Leur morphologie résulte de la succession, dans le temps, de processus de réduction-mobilisation du fer (périodes de saturation en eau) et de processus d'oxydation-immobilisation du fer (périodes de non saturation). Les horizons rédoxiques correspondent donc à des engorgements temporaires.

Les horizons rédoxiques sont caractérisés par une juxtaposition de plages ou de trainées grises (ou simplement plus claires que le fond matriciel de l'horizon), appauvries en fer, et de taches de couleur rouille (brun-rouge, jaune-rouge, voire rouge vermillon dans les SALISOLS), enrichies en fer.

Les taches d'oxydation et/ou de réduction peuvent être assez nombreuses (2 à 20 % de la surface de l'horizon) à très nombreuses (horizon bariolé). Elles peuvent être très fines (1 à 2 mm) à grosses (> 15 mm), peu contrastées ou contrastées. La répartition du fer est donc très hétérogène. La couleur des faces des unités structurales, plus claire que celle de leur partie interne, résulte d'une redistribution centripète de fer migrant, lors des périodes de saturation, vers l'intérieur des agrégats où il s'y immobilise lors du dessèchement. Ces ségrégations du fer sont permanentes, visibles quel que soit l'état hydrique de l'horizon. Les immobilisations se maintiennent lorsque le sol est de nouveau saturé, elles tendent ainsi à former peu à peu des accumulations localisées de fer donnant des taches rouille, des nodules ou des concrétions.

Le fer qui se redistribue dans ce type d'horizon peut provenir, dans des proportions variables, d'horizons sus-jacents ou voisins, en liaison avec les circulations verticales ou latérales des solutions du sol. Il y a alors enrichissement en fer. Un fort enrichissement et une forte hétérogénéité de la redistribution du fer peuvent conduire à la formation d'horizons ferriques non indurés (FE) ou indurés (FEm). A l'inverse, un fort appauvrissement en fer peut mener, à la longue, à des horizons complètement dépourvus de fer (horizons E albiques).

Une ségrégation de type rédoxique peut se surimposer aux traits pédologiques résultant du développement (actuel ou ancien) d'autres processus de pédogenèse tels que l'éluviation, l'illuviation, les altérations, etc. (horizons Eg, BTg, Scag, Sg, etc.).

## **Les horizons ferriques FE**

Ce sont des horizons où l'accumulation de fer est jugée dominante.

### **Horizon péto-ferrique FEm**

Horizon d'accumulation de fer indurée, apparaissant en bancs très durs, épais de 10 à 50 cm, souvent discontinus. Formé soit de nodules et ciments ferro-manganiques soit d'éléments grossiers (graviers, galets) cimentés par

des oxydes ferro-manganiques. Ces bancs sont souvent situés en position de piémont ou de rupture de pente. Les « garluches », « grepps », « grisons » en sont des exemples.

### Horizon placique FEmp

Horizon mince (1 à 10 mm) et induré, cimenté par du fer, du fer + du manganèse ou un complexe matière organique-fer.

## Les horizons calcariques K, Kc et Km

Ce sont des horizons où l'accumulation de carbonate de calcium est très importante, voire dominante.

*Remarque* : ils correspondent à l'« horizon calcique » de la légende FAO révisée (1989).

### Horizon calcarique K

Horizon d'accumulation de calcaire secondaire. Les formes des concentrations sont **discontinues** : revêtements, pseudo-mycéliums, amas friables, filons, nodules. Ces concentrations représentent plus de 15 % de l'horizon en volume. Les racines sont capables de pénétrer la masse de l'horizon.

### Horizon calcarique continu (Kc)

Horizon d'accumulation de calcaire secondaire. Les formes des concentrations sont **continues non indurées** : encroûtements massifs, certaines croûtes. Les racines sont capables de pénétrer la masse de l'horizon.

### Horizon pétrocalcarique (Km)

Horizon d'accumulation de calcaire secondaire. Les formes des concentrations sont **continues et indurées** : encroûtements nodulaires ou rubanés, dalles, certaines croûtes. Les racines ne peuvent pénétrer la masse de l'horizon Km qu'à la faveur de fissures.

## L'horizon C

Horizon minéral de profondeur qui diffère des couches M ou R en ce que ses constituants ont subi, dans toute sa masse, une fragmentation importante et/ou une certaine altération géochimique. Il diffère des horizons A, E, S, BT, G, g, etc. car il n'a pas acquis de structuration pédologique généralisée et conserve en grande partie sa structure lithologique originelle (isaltérite, allo-

térite). L'horizon C peut présenter des traits pédologiques témoins d'une certaine illuviation (dépôts de  $\text{CaCO}_3$ , gypse, argile, sels...) ou même d'éluviation latérale.

### **Les couches M, R et D (roches-mères et/ou substrats)**

Roches, dures ou meubles, non altérées (ou seulement très localement), qui constituent une discontinuité physique ou mécanique à la base du solum. Ces matériaux peuvent être partiellement exploités par les racines selon la profondeur où ils se situent et leurs propriétés lithologiques.

#### **Couches R**

Roches dures, massives ou peu fragmentées, avec généralement des diaclases et/ou des fissures. Celles-ci peuvent piéger des matières provenant des horizons supérieurs. Des phénomènes de dissolution, de désagrégation et d'altération localisés se produisent dans les joints de la roche. Cette couche est très difficilement dislocable et approfondissable par les outils habituels de travail du sol. Des sous-types peuvent être utilisés :

- Rca calcaires
- Rdo dolomitiques (dolomies et calcaires dolomitiques)
- Rcr cristallines ou cristallophylliennes (granites, gneiss)
- Rvo volcaniques (basaltes, andésites, trachytes, andésites)
- Rsi siliceuses (quartzites, meulières, roches silicifiées), etc.

#### **Couches M**

Roches meubles ou tendres non ou peu fragmentées, avec éventuellement des micro-fissures localement ou partiellement altérées. Ces couches sont cohérentes mais faciles à travailler avec des outils. Des sous-types peuvent être utilisés :

- Mcr craie ou calcaire crayeux
- Mm marnes
- Ma roches argileuses (argilites, shales, schistes)
- Msi roches siliceuses
- Mvo roches volcaniques (pyroclastiques), etc.

#### **Couches D**

Matériaux durs fragmentés puis déplacés ou transportés, non consolidés, formant un ensemble pseudo-meuble où les éléments grossiers dominent (cailloutis de terrasses, grève alluviale, éboulis cryoclastiques, blocailles,

éboulis, moraines, etc.). Ces couches peu cohérentes sont souvent faciles à travailler en l'absence de blocs. Des sous-types peuvent être utilisés :

- Dca roches calcaires
- Dsi roches silicatées
- Dx roches mixtes, etc.

### Matériaux limnique (Mli) et terreux (Mt)

Matériaux minéraux spécifiques des HISTOSOLS (cf. ce chapitre, p. 174).

### Horizons pierrique et cailloutique

Horizons comprenant des taux d'éléments plus grossiers que 2 cm > 60 % de la terre brute totale (en pondéral). Si le taux de pierres est supérieur à 40 % de la terre brute totale, on parlera d'un horizon PIERRIQUE. Si ce taux de pierres est inférieur à 40 %, on parlera d'un horizon CAILLOUTIQUE (cf. diagramme triangulaire, chap. PEYROSOLS).

### L'horizon labouré L

C'est un horizon dont la morphologie et le fonctionnement ont été anciennement ou sont encore périodiquement artificialisés par un labour et/ou d'autres pratiques agricoles. En effet, « horizon labouré » est à prendre au sens large : c'est une couche résultant du travail d'une charrue ou de tout autre outil qui réalise un ameublissement profond (machine à bêcher, chisel, outil rotatif, etc.).

Les transformations liées à l'activité agricole sont d'origine mécanique (retournement et/ou mélange d'horizons). Elles affectent principalement la structure des premiers centimètres du sol, selon souvent un cycle saisonnier. Elles s'accompagnent d'autres actions humaines répétées telles que amendements calcaires ou organiques, fertilisations, traitements pesticides, épandages de déchets liquides ou solides, etc. Cet horizon était dénommé antérieurement Ap.

Si l'on reconnaît encore nettement des caractères d'horizons A, E, S, O ou H on peut utiliser les notations LA, LE, LS, LO ou LH. Dans le cas de solums tronqués, le labour a pu affecter des horizons de profondeur tels que BT ou BP, on peut employer alors les notations LBT ou LBP. Si l'on ne peut ou ne veut pas trancher, on note L.

Enfin, il est possible de se rattacher aux conceptions de Manichon et Gautronneau qui, pour l'étude du « profil cultural », subdivisent verticalement l'horizon labouré en 7 sous-horizons :

Manichon et Gautronneau		Réf. Pédologique
H 1 à H 4	horizons de « reprise » du labour	L1 à L4
H 5	horizon « labouré » non repris	L5
H 6 et H 7	bases d'horizons « labourés » anciens	L6 et L7

On pourrait convenir d'utiliser les mêmes subdivisions en substituant L à H puisque, dans le Référentiel Pédologique, H symbolise les horizons histologiques.

## L'horizon salique

Horizon caractérisé par une accumulation marquée de sels plus solubles que le gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) dont le produit de solubilité  $\log K_s$  à  $25^\circ\text{C}$  = -4,85. Il peut donc s'agir de sels chlorurés, sulfatés, bicarbonatés, carbonatés ou nitrates : sels simples  $\text{KCl}$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaNO}_3$ ,..., ou sels complexes plus ou moins hydratés. Le cation le plus fréquent est le sodium.

Outre ce critère de solubilité, le type anionique de salure et la conductivité électrique de la solution du sol sont pris en considération :

- enrichi en chlorures et/ou en sulfates ou nitrates (sels de la série neutre), avec un pH de l'extrait de pâte saturée inférieur à 8,5, il est défini comme salique si, à un moment de l'année, la conductivité électrique de cet extrait de pâte saturée atteint 15 dSiemens par mètre à  $25^\circ\text{C}$  ;

- enrichi en bicarbonates et carbonates (sels de la série alcaline), avec un pH de l'extrait de pâte saturée supérieur à 8,5, il est défini comme salique si, pendant une période de l'année, la conductivité électrique de cet extrait de pâte saturée atteint  $8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$  à  $25^\circ\text{C}$ .

Notations : SaA, SaS, SaC, SaY, éventuellement SaBT, SaH, SaK, etc.

*Remarque* : La teneur de cet horizon en sodium et/ou en magnésium échangeable peut être élevée relativement au calcium, et elle l'est d'autant plus que la salinité est forte, mais la structure n'est pas dégradée.

## L'horizon sodique

Horizon caractérisé par une forte proportion de sodium échangeable. Il est affecté également par une structure dégradée et compacte, soit totalement continue soit grossièrement polyédrique, prismatique ou en colonnes. Cette évolution structurale est en relation avec des conditions pédoclimatiques de plus en plus humides provoquant la mobilisation du sodium au sein des solums ou latéralement. La porosité intra-agrégats de cet horizon est toujours faible, non seulement en saison humide mais aussi en saison sèche.

Cette dégradation de la structure est provoquée par une teneur en sodium échangeable et hydrolysable plus ou moins élevée, mais représentant au moins 15 % de la somme des cations échangeables alcalins et alcalino-terreux. Cette teneur peut être inférieure lorsque le sodium manquant est compensé par une teneur élevée en magnésium échangeable et surtout déséquilibrée par rapport à celle du calcium. Selon la nature minéralogique des argiles présentes, une teneur en sodium inférieure à 15 % peut aussi causer des dégradations structurales.



La teneur en sels solubles de cet horizon est nulle ou très faible.  
Notation : NaA, NaS, NaC, NaBT.

## **Le matériau sulfidique ou thionique (TH)**

C'est un matériau minéral ou organo-minéral, gorgé d'eau, qui contient au moins 0,75 % de soufre (en poids sec), surtout sous forme de sulfures. Le matériau sulfidique s'accumule dans des sols qui sont continuellement saturés en eau généralement salée ou saumâtre. Les sulfates présents dans l'eau sont réduits par voie biologique en sulfures. Par assèchement naturel ou par drainage artificiel, les sulfures s'oxydent et produisent de l'acide sulfurique. Le pH normalement voisin de la neutralité peut s'abaisser en dessous de 2. L'acide réagit avec le sol pour former des sulfates de fer et d'aluminium (jarosite, natro-jarosite, tamarugite, alun...). La transformation d'un matériau sulfidique en un horizon sulfaté peut être assez rapide (quelques années). Pour une identification rapide sur le terrain, on peut oxyder un échantillon dans l'eau oxygénée concentrée et mesurer la chute du pH.

## **L'horizon sulfaté U**

Cet horizon est composé d'un matériau minéral ou organo-minéral qui a, en même temps, un pH inférieur à 3,5 (1 : 1 dans l'eau) et des taches de jarosite (couleur 2,5 Y ou plus jaune et *chroma* égal ou supérieur à 6). Des sulfates sont présents, sous forme de jarosite ou de sulfate d'alumine, avec une teneur en soufre > 0,75 %.

## **L'horizon pétrogypique (Ym)**

Horizon situé tout à fait en surface, correspondant à une concentration continue (croûte) de gypse, induré et morcelé en plaques polygonales dont l'amorce est visible dans l'horizon sous-jacent qui est toujours un horizon Ys.

### **Principaux caractères :**

- structure très massive. Les faces supérieures des plaques polygonales, avec pellicules de lichens souvent unies ou lapiazées et les faces inférieures constituées d'une pellicule durcie sont nettement individualisées ;
- matrice composée d'un assemblage très dense,
- pas de racines ni de radicelles.

## **L'horizon gypique de surface (Ys)**

Horizon de surface ou proche de la surface, d'épaisseur sensiblement constante et comprise entre 20 et 50 cm, caractérisé par une concentration continue (encroûtement) de gypse microcristallisé en relation avec l'activité

racinaire et le cycle humectation / dessiccation en zones arides et semi-arides, sur roches-mères gypseuses. Souvent surmonté par un horizon pétrogyp-sique Ym. A l'horizon Ys est associée une végétation naturelle adaptée avec notamment le groupe bio-géochimique des thiophores qui accumulent beaucoup de soufre, calcium et magnésium.

**Principaux caractères :**

- teneur en gypse total comprise entre 25 et 95 % ; calcaire total < 20 % ;
- structure massive, relativement friable avec des amas plus durs et colorés (« têtes d'épingles ») ;
- gypse microcristallisé (< 20 µm) avec quelques gros cristaux de gypse et de quartz ;
- couleurs : *value* 8, *chroma* entre 0 et 3, teinte de 2,5 YR à 10 YR (bornes comprises) ;
- racines et radicules nombreuses, souvent noirâtres ;
- très compact, porosité tubulaire ;
- CEC de quelques cmol<sup>+</sup> / kg. Solution du sol saturée en Ca<sup>++</sup> avec une conductivité de plus de 2 mS/cm (de 2 à 7). Fort déficit en éléments nutritifs. Les déterminations analytiques classiques sont inopérantes et les méthodes mieux adaptées difficiles à mettre en œuvre.

## L'horizon gyp-sique de profondeur (Yp)

Horizon d'épaisseur très variable (10 à 100 cm) caractérisé par une concentration continue (encroûtement) de gypse cristallisé et parfois induré, en relation soit avec une nappe phréatique soit avec des phénomènes d'illuviation verticale ou avec une circulation latérale des solutions. Horizon de moyenne profondeur, parfois assez proche de la surface en relation avec le niveau de la nappe phréatique ou avec des situations aval dans le paysage. Les horizons Yp sont observés dans des solums salsodiques et hydromorphes, des « siero-zems », etc.

**Principaux caractères :**

- teneur en gypse comprise entre 15 et 60 % ; calcaire total très variable (< 40 %) ;
- structure massive parfois indurée avec cristaux plus ou moins visibles, parfois sur-structure lamellaire grossière. Très compact ;
- les cristaux sont plus gros que dans l'horizon Y de surface (10 à 100 µm). Quelques vides avec gypsanes ;
- couleur : la *value* Munsell peut descendre à 7 et le *chroma* monter à 4 ;
- peu ou pas de racines ;
- solution du sol saturée en Ca<sup>++</sup> avec une conductivité > 2 mS/cm pouvant atteindre 80 ;
- horizon formant obstacle à la pénétration des racines et à la circulation de l'eau.

**Principaux faciès :**

- faciès très induré = croûte (horizon Ypm),
- faciès calcaro-gypseux.

## Les horizons à propriétés vertiques (horizons Av, SV et V)

### Caractères communs

- teneur en argiles de la terre fine > 40 % (souvent beaucoup plus) ;
- les minéraux argileux sont dominés par les minéraux gonflants, le plus souvent smectitiques ;
  - le potentiel de gonflement/rétraction peut être quantifié soit par la mesure du COLE (*coefficient of linear extensibility*) soit par celle du coefficient de retrait volumique (cf. chap. VERTISOLS) ;
  - à l'état sec, les structures sont très bien exprimées, le plus souvent très anguleuses, polyédrique grossière ou prismatique ou sphénoïde ; possibilité de formation de larges et profondes fentes ;
  - à l'état humide, forte plasticité, faible conductivité hydraulique et faible taux d'infiltration de l'eau ;
  - en raison de l'abondance de la fraction argile et de la prédominance des smectites, la CEC des horizons est très élevée, le plus souvent comprise entre 30 et 80 cmol<sup>+</sup>/kg ;
  - le complexe adsorbant est en général saturé ; la proportion d'alcalino-terreux est très élevée ; le rapport Ca<sup>++</sup>/Mg<sup>++</sup> peut varier de 1 000 à 0,002 (Nouvelle Calédonie, solums issus de roches ultrabasiques), mais il est le plus souvent compris entre 4 et 1 ;
  - faible macro-porosité intra-agrégats d'où une forte densité apparente de mottes (en général comprise entre 1,5 à 1,8 g/cm<sup>3</sup>).

### Horizon de surface à propriétés vertiques (Av ou LAV ou Lv)

Cet horizon de surface est caractérisé par une forte activité biologique (en conditions naturelles) et par de fortes dessiccations de longues durées. Sous climats tempérés ou continentaux, il est parfois soumis au gel.

Sous végétation naturelle (horizons Av), le taux de matière organique est élevé ; la structure peut être nettement grumeleuse d'où une densité apparente inférieure à 1,5.

Sous cultures (horizons LAV ou Lv), l'activité biologique et les teneurs en matières organiques peuvent être fortement abaissées, la structure grumeleuse disparaît généralement au profit d'une structure anguleuse plus ou moins fine. Sous l'effet du dessèchement, quelques centimètres de la partie la plus superficielle se subdivisent en une structure micro-polyédrique avec des éléments de quelques millimètres de diamètre moyen. C'est le phénomène de l'autodivision ou « *self-mulching* » ou « auto-paillage », très favorable ultérieurement à la germination des céréales.

L'irrigation peut empêcher la manifestation des structures anguleuses en maintenant une humidité permanente.

Dans certains cas, la structure demeure massive pendant la période de sécheresse (caractère « maza » des premières classifications américaines). C'est le cas de certains sols du Sénégal qui sont impropres à la culture du coton avec les techniques locales.

### Horizon structural verticale (horizon SV)

Cet horizon sub-superficiel est toujours superposé à l'horizon V quand ce dernier existe.

Le plus souvent l'horizon SV présente une dynamique structurale qui rend difficile une définition de son épaisseur qui semble varier au cours des saisons. Tous les caractères généraux des horizons à propriétés verticales sont vérifiés. L'organisation structurale se manifeste de façon très accentuée en relation avec de grandes différences saisonnières de l'état d'humidité :

- en fin de périodes humides, l'horizon est très humide, massif, pâteux. La sur-structure prismatique demeure visible mais peu exprimée ;
- au cours du dessèchement, des fentes de retrait apparaissent formant un réseau grossièrement polygonal (réseau dont la maille peut atteindre un mètre), la partie supérieure de l'horizon se fissure et se divise. L'organisation structurale s'exprime très fortement : sur-structure prismatique grossière, sous-structure polyédrique anguleuse avec des faces obliques.

### Horizon verticale sphénoïde (horizon V)

Horizon profond caractérisé, outre les caractères généraux de tous les horizons à propriétés verticales, par une structure **sphénoïde** et l'existence de nombreuses **faces de glissement** ou *slickensides*.

Cette structure caractéristique peut-être appelée aussi « **structure en coins** » ou « **en plaquettes obliques** ». Elle est caractérisée par la présence de vastes surfaces gauchies et luisantes qui, se recoupant suivant des angles de 10 à 60° sur l'horizontale, souvent très aigus, déterminent l'existence d'éléments structuraux larges, à section voisine du losange, dont les faces sont parfois striées ou cannelées. Ces faces de glissement résultent du glissement de masses de sol les unes sur les autres pendant la réhumectation.

Au cours du dessèchement qui suit la période humide, la partie supérieure de l'horizon V se rétracte et il apparaît des fentes et des fissures mettant en évidence une surstructure prismatique qui se surimpose à la structure sphénoïde. Cependant la masse de l'horizon V connaît d'assez faibles variations d'humidité au cours des saisons et demeure toujours un milieu confiné.

### L'horizon fersiallitique (FS)

L'horizon FS présente tous les caractères ci-après.

### **Constituants**

L'altération fersiallitique confère à l'horizon FS des constituants qui sont toujours de même nature, mais qui peuvent se trouver en proportions variables selon les roches mères.

Les minéraux argileux 2/1 jouent un rôle dominant, même s'ils peuvent être présents en proportion faible (autour de 10 %) comme c'est souvent le cas, par exemple, sur les roches basiques non micacées.

La fersiallisation a été souvent caractérisée par un taux élevé de libération du fer (rapport fer libre/fer total > 0,50). En réalité, il s'avère que le seuil pertinent dépend très largement de la roche mère : par exemple, sur matériau riche en fer (basaltes, gneiss à amphibole, schistes à chlorite ferrifère, etc.), le rapport fer libre/fer total peut être beaucoup plus faible (environ 0,30).

En revanche, il apparaît plus intéressant de doser le fer « facilement extractible » (FFE), quantifié grâce à une cinétique d'extraction à l'acide chlorhydrique et à la soude (méthode de Quantin et Lamouroux). Pour les horizons FS qui ont été soumis à cette analyse, il se dégage un seuil : FFE/fer total > 0,20. Il reste cependant à mettre au point une méthode plus adaptée, qui ne risque pas de solubiliser le fer inclus dans certains minéraux. La pertinence du dosage du fer facilement extractible s'explique par le fait que le fer des horizons FS se trouve, au moins en partie, sous la forme de cristallites très fines (3 à 5 nm), généralement d'hématite (détermination par spectrométrie Mössbauer).

L'horizon FS peut être carbonaté ou non. Sur roche calcaire, cependant, il semble que la fersiallisation intervienne après décarbonatation : les carbonates éventuellement présents dans l'horizon FS seraient donc d'origine secondaire (reprécipitation ou colluvionnement).

### **Couleur**

La couleur de la matrice ou au moins celle des faces d'agrégats est 5 YR avec un *chroma* supérieur à 3,5, ou plus rouge.

### **Structure**

La structure est polyédrique anguleuse, très fine, fine ou moyenne ; très bien développée et très nette. Elle est extrêmement stable. Elle s'organise souvent en une sur-structure polyédrique anguleuse, cubique ou prismatique, à faces luisantes ; elle se subdivise généralement en une sous-structure millimétrique anguleuse, très typique. Cette structure caractéristique s'estompe souvent dans les horizons sableux, ou en présence de carbonates. La structure de l'horizon FS n'est jamais micro-agrégée (ni « micro-nodulaire », ni « en pseudo-sables »).

### **Microstructure**

L'assemblage textural (distribution relative du plasma et du squelette) est généralement porphyrique ; dans le cas des textures sableuses il est chitonique (intertextuelle). Le motif de biréfringence (assemblage plasmique) est

généralement à striation réticulée (lattisépique). A l'échelle ultra-microscopique, la micromasse (plasma) est organisée en microdomaines orientés ; les oxyhydroxydes de fer, sous la forme de nanoparticules de 3 à 5 nm de diamètre, n'apparaissent pas étroitement associés aux minéraux argileux, mais sont groupés en amas isolés dans la masse argileuse.

### **Traits pédologiques**

L'illuviation d'argile est souvent observée dans l'horizon FS (horizon FSt), mais les traits texturaux (revêtements argileux ou argilanes) peuvent être invisibles sur le terrain parce qu'intégrés à la masse basale (matrice). Souvent, sur matériau carbonaté, ce sont ces revêtements qui donnent à l'horizon sa couleur rouge, alors que sur roches volcaniques riches en verres c'est la micromasse d'altération (altéro-plasma) qui est rouge. Typiquement, il n'y a pas de ségrégation du fer et du manganèse, sauf, éventuellement, sous forme de très fins enduits noirs sur les faces des agrégats.

### **Autres propriétés**

Nettement argilisé et riche en minéraux 2/1, un horizon FS a généralement une capacité d'échange assez élevée et de bonnes capacités de rétention en eau. L'abondance du fer facilement extractible confère généralement à cet horizon une bonne capacité d'échange pour le phosphore.

L'horizon FS peut être carbonaté, calcique ou insaturé.

## **Horizons à caractère xanthomorphe (-j)**

Sont dits « à caractère xanthomorphe » des horizons qui présentent les caractères suivants :

- des couleurs vives, jaunes (7,5 YR ou plus jaune) dans la matrice et les faces d'agrégats ;
- une structure anguleuse nette, assez fine, à faces luisantes ;
- des redistributions du fer et du manganèse, sous forme de fins enduits noirs brillants sur les faces des agrégats et/ou très petits nodules noirs ;
- un matériau généralement argileux, riche en fer libre.

De tels horizons ressemblent assez à l'horizon FS. Ils s'en distinguent cependant par leur couleur non rouge, parce qu'ils ne présentent pas de sous-structure micro-polyédrique très nette, par les redistributions du fer et du manganèse (enduits et/ou nodules noirs) et par une moindre abondance du fer facilement extractible.

Le caractère « xanthomorphe » peut s'appliquer à différents types d'horizons tels que S, Sci ou BT mais pas à un horizon FS. Ils sont alors codés Sj, Scij ou BTj. Le caractère « xanthomorphe » apparaît fréquemment dans les franges humides des régions méditerranéennes, mais on peut l'observer sous climat tempéré. Dans les milieux méditerranéens, il est souvent associé dans

le paysage à l'horizon FS mais il y occupe des situations pédoclimatiquement plus humides. Sous un même climat, on l'observe en position aval (poche karstique, bas de versant). Enfin, dans un même solum, un horizon à caractère xanthomorphe peut coexister avec un horizon FS : il est généralement situé sous ce dernier, au contact avec la roche-mère ou son altérite, où il résulte d'un ralentissement de la circulation de l'eau.

## Les horizons à propriétés andiques (horizons And, Snd, Alu et Slu)

Ces horizons ont des propriétés largement déterminées par la nature de leur fraction colloïdale non cristalline ou paracristalline. Caractéristiques des ANDOSOLS (cf. ce chapitre), ils se forment principalement par altération de matériaux volcaniques pyroclastiques.

### Horizons silandiques (And et Snd)

Ils sont caractérisés par la prédominance des minéraux secondaires para-ou cryptocristallins tels que allophane, imogolite et hisingerite. Seule une petite quantité d'aluminium est complexée par les acides organiques par rapport à l'aluminium des minéraux allophaniques. Le  $\text{pH}_{\text{eau}}$  est acide, peu acide, voire neutre ou basique. La densité apparente est basse, généralement inférieure à 0,9. La valeur  $\text{Al}_{\text{ox}} + 1/2 \text{Fe}_{\text{ox}}$  est supérieure à 2 %.  $\text{Si}_{\text{ox}}$  est supérieur à 0,6 % et le rapport  $\text{Al}_{\text{py}}/\text{Al}_{\text{ox}}$  est inférieur à 0,5. L'aluminium échangeable est inférieur à 2  $\text{cmol}^+/\text{kg}$  en valeur absolue ou  $\text{Al}^{+++}/\text{CEC} < 20 \%$ .

Horizon And : - teneur en carbone organique généralement  $>$  ou égale à 3 %,

- couleur sombre ou noire (*chroma* et *value* inférieurs ou égaux à 3 à l'état humide),
- $\text{pH}_{\text{eau}}$  supérieur à 4,5,
- structure microgrumeleuse (« *fluffy* »).

Horizon Snd : - teneur encore notable en matières organiques bien humifiées (carbone organique  $>$  0,6 %) ne se marquant pas dans la couleur,

- $\text{pH}_{\text{eau}}$  supérieur à 5,0,
- structure continue, grenue ou polyédrique fine.

### Horizons aluandiques (Alu et Slu)

Dans ces horizons, l'aluminium complexé par des acides organiques domine sur l'aluminium des minéraux allophaniques. Le  $\text{pH}_{\text{eau}}$  est acide à très acide. La densité apparente est inférieure à 0,9. La valeur  $\text{Al}_{\text{ox}} + 1/2 \text{Fe}_{\text{ox}}$  est supérieure à 2 %, mais la valeur de  $\text{Si}_{\text{ox}}$  est inférieure à 0,6 %. Le rapport  $\text{Al}_{\text{py}}/\text{Al}_{\text{ox}}$  est supérieur à 0,5. L'aluminium échangeable est supérieur à 2  $\text{cmol}^+/\text{kg}$  ou  $\text{Al}^{+++}/\text{CEC} > 20 \%$ .

- Horizon Alu :     - couleur généralement noire (*chroma* et *value* inférieurs à 2),  
                      - teneur en carbone organique > ou égale à 3 %,  
                      -  $\text{pH}_{\text{eau}}$  inférieur à 4,5,  
                      - structure microgrumeleuse (« *fluffy* »),  
                      - souvent toucher onctueux.
- Horizon Slu :     -  $\text{pH}_{\text{eau}}$  inférieur à 5,0.

## Les horizons « atypiques » ou « jeunes » (Js et Jp)

Ce sont des horizons très peu différenciés, soit parce que la durée d'évolution du solum est encore insuffisante, soit parce que les autres facteurs de la pédogenèse sont absents ou bloquent l'évolution. Les processus d'altération (décarbonatation, libération du fer...) et de redistribution interne de matières (argile, fer, calcaire) sont à peine amorcés et peu visibles. Ce ne sont plus des couches M ou D, il existe une structure pédologique mais peu développée et tributaire de la granulométrie.

L'horizon **J de surface** (Js) contient de faibles quantités de matières organiques. Sa structure n'est jamais bio-macrostructurée. Cet horizon s'observe dans certains FLUVIOSOLS, THALASSOSOLS, CRYOSOLS, etc.

L'horizon **J de profondeur** (Jp) est situé sous un horizon Js et ne contient pas de matières organiques ou seulement des traces. Il peut être observé, à faible profondeur, dans certains FLUVIOSOLS, THALASSOSOLS, CRYOSOLS, RÉDOXISOLS ou RÉDUCTISOLS.





## LISTE ET DÉFINITIONS DES QUALIFICATIFS

Ces différents termes sont à utiliser pour :

- accompagner le nom d'une Référence et ainsi transmettre une information beaucoup plus riche
  - en précisant la nature de la roche-mère ou du substrat ou celle de l'épisolum humifère,
  - en signalant la présence de tel ou tel horizon de référence supplémentaire,
  - en indiquant l'origine et l'intensité des excès d'eau, la position topographique du solum, etc.
- qualifier des horizons (texture, pH, taux de saturation, abondance de tel ou tel élément).

Certains Qualificatifs servent :

- à distinguer entre une origine directe et une superposition :  
exemples : de craie tendre ; issu d' alluvions anciennes (roches-mères) ; **sur** calcaire dur (substrat) ; **superposé à** un CALCOSOL (2 solums superposés) ;
- à informer que le solum montre des caractères hérités d'une pédogenèse ancienne :  
exemple : **anciennement** ferrallitique ; **paléo-luvi**que ;
- à exprimer que de nouveaux processus pédologiques débutent, sans affecter l'ensemble du solum :  
exemples : **podzolisé** ; à **micro-podzol** ; **en voie de** brunification ; **néoluvique** ;
- à souligner qu'il y a disjonction entre la morphologie du solum et son fonctionnement hydrique ou physico-chimique actuel, suite ou non à une intervention de l'homme :  
exemples : **assaini** ; **drainé** ; à **hydromorphie fossile** ; **amendé** ; **resaturé** ; **fertilisé** ; **recarbonaté** ; **paléo-luvi**que ;
- à signaler que la succession normale des horizons a été modifiée par des phénomènes naturels ou anthropiques :  
exemples : **cryoturbé** ; **labouré** ; **tronqué** ; **cumulique** ;
- à signifier que le solum étudié rappelle morphologiquement telle Référence mais que sa mise en place est complexe :  
exemples : **quasi-LUVISOL** ; **pseudo-LUVISOL** ;

- à transmettre des informations complémentaires telles que la position topographique :

exemples : **de doline, de bas de versant, de fond de vallon,**

ou le paysage environnant :

exemples : **de polder, d'erg, alpin, arctique, de badlands, de delta.**

## A

<b>d'ablation</b>	qualifie un solum dont la présence résulte d'une ablation récente (certains RÉGOSOLS ou LITHOSOLS).
<b>agricompacté</b>	qualifie un solum dont les horizons de surface sont fortement compactés sous l'action d'une agriculture mal menée. En conséquence, la porosité et l'activité biologique sont très diminuées.
<b>agrique</b>	qualifie un LUVISOL (ou autre Référence) présentant des revêtements d'argile et d'humus dans leur horizon BT, liés à la mise en culture.
<b>albique</b>	qualifie un solum comportant un horizon E albique.
<b>alluvial</b>	qualifie un solum dont la plus grande partie ou la totalité des matériaux est d'origine alluviale.
<b>alluvio-colluvial</b>	qualifie un FLUVIOSOL dont une partie des matériaux est d'origine colluviale.
<b>alpin</b>	qualifie un solum caractéristique de l'étage de végétation alpin.
<b>altéritique</b>	marque la présence d'un horizon C de type altérite.
<b>aluminique</b>	qualifie un horizon ou un solum où $Al^{+++}$ domine largement le complexe adsorbant.
<b>alunique</b>	qualifie un SULFATOSOL où des sulfates d'aluminium (tamarugite, alun) sont présents soit dans les 20 premiers centimètres, soit sous forme d'efflorescences superficielles.
<b>amendé</b>	qualifie un solum dont certaines propriétés ont été modifiées par apports d'amendements.
<b>anacarbonaté</b>	qualifie un solum dans lequel on observe des remontées de $CaCO_3$ secondaire sous forme de pseudomycéliums dans des horizons S ou BT, suite à une évapotranspiration supérieure aux précipitations (certaines années).
<b>anciennement</b>	(terme syntaxique) signale une ancienne pédogenèse.
<b>andique</b>	qualifie un solum (autre que ANDOSOL) qui présente seulement certaines propriétés andiques.
<b>à anmoor</b>	

<b>anthropique</b>	qualifie un LITHOSOL ou un RÉGOSOL dont l'existence résulte d'une activité humaine (carrière, décapage, etc.).
<b>anthropisé</b>	qualifie un solum (autre qu'un ANTHROPOSOL) dont la morphologie a été fortement modifiée par une activité humaine.
<b>anthropo-rédoxique</b>	qualifie un solum dans lequel des caractères rédoxiques se manifestent nettement dans l'horizon de surface, en résultat d'une activité agricole.
<b>anthropo-réductique</b>	qualifie un solum dans lequel des caractères réductiques se manifestent nettement dans l'horizon de surface, en résultat d'une activité agricole.
<b>appauvri</b>	qualifie un solum (autre que LUVISOL, PÉLOSOL DIFFÉRENCIÉ ou PLANOSOL) dont les horizons de surface ont été appauvris en argile par un processus pédologique <i>in situ</i> . Le processus est insuffisant pour conduire à la différenciation d'horizons E typiques. Peut qualifier des BRUNISOLS, PÉLOSOLS, etc.
<b>d'appauvrissement</b>	qualifie un planosol pédomorphe sans horizon BT dont l'horizon supérieur E s'est différencié par départ latéral d'argiles en suspension.
<b>d'apport</b>	qualifie un solum dont l'existence résulte d'un apport récent.
<b>arctique</b>	qualifie un solum caractéristique de la zone climatique arctique.
<b>assaini</b>	qualifie un solum ayant subi un assainissement agricole.
<b>B</b>	
<b>badlands</b>	RÉGOSOLS d'érosion de marnes ou d'argilites.
<b>bathy-</b>	(préfixe) indique que le caractère s'observe en profondeur.
<b>bathycarbonaté</b>	qualifie un CALCISOL dont le solum diagnostique est Aci/Sci/Sca (intergrade vers un CALCOSOL).
<b>bathyhistique</b>	qualifie un solum (autre que HISTOSOL) présentant un horizon histique en profondeur.
<b>bathyluvique</b>	qualifie un solum (autre qu'un LUVISOL) montrant des traits d'accumulation d'argile illuviale en profondeur.
<b>bathypyractique</b>	qualifie un HISTOSOL dont des horizons profonds ont brûlé.
<b>bathysulfaté</b>	qualifie un solum autre que SULFATOSOL présentant un horizon sulfaté U à plus de 50 cm de profondeur.
<b>bathyvertique</b>	qualifie un solum qui présente un horizon V typique, débutant à plus de 100 cm de profondeur.

<b>bilithique</b>	qualifie un solum développé dans deux matériaux différents superposés.
<b>bicarbonaté</b>	qualifie des SODISALISOLS ou SALISODISOLS dont les sels solubles sont principalement des bicarbonates.
<b>à blocs</b>	signale la présence de blocs en surface.
<b>brun</b>	qualifie un ALOCRISEL dont l'horizon Sal présente une couleur de <i>chroma</i> < ou = 6.
<b>brunifié</b>	qualifie un solum (autre que BRUNISOL, par exemple un PÉLOSOL, un ORGANOSOL ou un FLUVIOSOL) présentant déjà des caractères de la brunification (notamment présence d'un véritable horizon S bien aéré).
<b>à horizon BT</b>	qualifie un non-LUVISOL. Présence d'un horizon BT dans la partie inférieure du solum (cf. bathyluvique et luvique).
<b>à horizon BT en bandes</b>	
<b>C</b>	
<b>caillouteux</b>	qualifie un solum ou un horizon où la charge en cailloux excède 40 % en poids de la terre totale sèche (sans excéder 60 %).
<b>à cailloux calcaires</b>	
<b>calcaire</b>	qualifie un horizon ou un solum carbonaté dans lequel $\text{CaCO}_3$ est seul présent ou très largement majoritaire (rapport molaire $\text{CaCO}_3/\text{MgCO}_3 > 8$ ). Effervescence à froid généralisée dans la masse. Sera considéré également comme « calcaire » un horizon ou un solum non calcaire dans la terre fine mais qui contient des graviers et cailloux calcaires en grand nombre dans sa masse.
<b>calcarique</b>	qualifie un solum dans lequel un horizon K ou Kc est présent (attention : selon la Légende FAO révisée en 1989, ce terme s'applique aux sols qui sont calcaires sur toute l'épaisseur comprise entre 20 et 50 cm).
<b>calcimagnésique</b>	qualifie un horizon ou un solum saturé, sub-saturé ou resaturé, dans lequel le rapport $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$ est compris entre 5 et 2. Pas d'effervescence ou seulement localement ou ponctuellement.
<b>calcique</b>	qualifie un solum ou un horizon saturé, sub-saturé ou resaturé dans lequel $\text{Ca}^{++}$ est largement dominant (rapport $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++} > 5$ ). Pas d'effervescence ou seulement localement ou ponctuellement (attention : l'« horizon calcique », selon la Légende FAO révisée en 1989, correspond à l'« horizon calcarique » du Référentiel Pédologique).

- carbonaté** qualifie un horizon ou un solum qui contient plus de 5 % de calcite ou de dolomite dans la terre fine. Effervescence généralisée avec HCl à froid ou à chaud. Dans le cas particulier des SALISOLS : dont la salure est dominée par des sels alcalins (pH supérieur à 8,5 ; carbonates et bicarbonates). Dans le cas particulier des CHERNOSOLS HAPLIQUES : calcaire dès la surface.
- à charge calcaire** qualifie un solum contenant des éléments grossiers calcaires.
- à charge grossière** qualifie un solum ou un horizon dont la charge en éléments grossiers > 2 mm dépasse 40 % en poids de la terre totale sèche, sans que graviers, cailloux ou pierres pris séparément excèdent 40 %.
- chernique** qualifie un solum (autre que CHERNOSOL) présentant à sa surface un horizon Ach épais de moins de 40 cm.
- clair** qualifie des horizons A à faible teneur en matières organiques parce que ces matières organiques connaissent une minéralisation très rapide, d'où une couleur « claire ». Le terme « clair » est employé lorsqu'il s'agit d'un équilibre naturel (cf. « éclairci »).
- chloruro-sulfaté** qualifie des SODISALISOLS ou SALISODISOLS dont les sels solubles sont principalement des chlorures et des sulfates.
- clinohumique** qualifie un solum à forte accumulation, en surface, de matières organiques fortement colorées et très liées à la matière minérale. En outre, cette matière organique montre une diminution progressive avec la profondeur. Il y a encore au moins 0,6 % de carbone organique à plus de 40 cm de profondeur dans un horizon Ach, Sh ou BTh. Ce terme remplace désormais « isohumique ».
- collinéen** qualifie un solum caractéristique de l'étage de végétation collinéen.
- colluvial** qualifie un solum dont la plus grande partie des matériaux est d'origine colluviale (apports essentiellement latéraux).
- colluvionné en surface** qualifie un solum (autre que COLLUVIOSOL) qui présente en surface des apports colluviaux sur moins de 50 cm d'épaisseur.
- compacté** qualifie un ANTHROPOSOL ayant subi un compactage par le trafic ou pour préparer la construction de bâtiments.

- complexe** qualifie un solum composé de la superposition de plusieurs matériaux colluviaux, alluviaux ou sédimentaires, nettement différents.
- composite** qualifie un HISTOSOL ne comportant pas d'horizon Hs, Hm ou Hf prédominant.
- contaminé** qualifie un horizon ou un solum nettement enrichi en éléments xénobiotiques (éléments traces métalliques, hydrocarbures, molécules organiques de synthèse, etc.), par suite d'actions humaines, volontaires ou non.
- à couche R disloquée, diaclasée, cryoturbée, à pendage redressé, etc.**
- à couverture caillouteuse** qualifie un non-PEYROSOL débutant par un horizon cailloutique de moins de 20 cm d'épaisseur.
- à couverture pierreuse** qualifie un non-PEYROSOL débutant par un horizon pierrique de moins de 20 cm d'épaisseur.
- à croûte calcaire** signale la présence d'un horizon Km de faciès « croûte ».
- cryoturbé** qualifie un solum dont certains ou tous les horizons ont été déformés par cryoturbation.
- cultivé** qualifie un solum qui est régulièrement cultivé ou l'a été anciennement.
- cumulique** qualifie un solum dont un horizon de surface est anormalement épais, par rapport à une norme locale.
- D**
- de** = issu de (terme syntaxique). Signifie que le solum considéré provient directement de la roche-mère dont la description suit.
- décapé** qualifie un ANTHROPOSOL TRANSFORMÉ dont on sait que les horizons supérieurs ont été enlevés par une intervention humaine.
- décarbonaté en surface**
- défoncé** qualifie un solum ayant subi un ou plusieurs défoncements.
- dégradation, dégradé** ces termes sont ambigus car ils recouvrent aussi bien ce que l'on appelle « dégradation morphologique » que la « dégradation géochimique » des minéraux argileux. Dans le cas des LUVISOLS, il s'agit de solums présentant un horizon E albique et un horizon BTgd (« dégradation morphologique »). Dans le cas des PLANOSOLS, il s'agit de planosols pédomorphes dont la formation est surtout due à la « dégradation géochimique ». Dans le cas des SODISOLS, on utilisera de préférence les termes « solodisation » et « solodisé ».

- à dégradation diffuse** qualifie un solum présentant des taches et interdigitations de concentrations squelettiques.
- désaturé** qualifie un horizon ou un solum dont le rapport S/T est inférieur à 20 %.
- différencié** qualifie un solum présentant une nette différenciation texturale.
- dolomiteux** qualifie un horizon ou un solum carbonaté qui présente un rapport molaire  $\text{CaCO}_3/\text{MgCO}_3$  compris entre 1,5 et 8.
- dolomitique** qualifie un horizon ou un solum carbonaté dans lequel  $\text{MgCO}_3$  est du même ordre de grandeur que  $\text{CaCO}_3$  ou est dominant (rapport molaire  $\text{CaCO}_3/\text{MgCO}_3 < 1,5$ ). Pas d'effervescence à froid ou très faible.
- dunaire** qualifie un solum développé dans des dépôts dunaires.
- à duripan** qualifie un solum dans lequel existe un horizon pétro-silicique (= duripan).
- dystrique** qualifie un horizon ou un solum dont le rapport S/T  $< 50$  %.

## E

- éclairci** qualifie un épisolum humifère à faible teneur en matières organiques parce que ces matières organiques connaissent une minéralisation très rapide, d'où une couleur « claire ». Le terme éclairci est utilisé lorsqu'on est convaincu que ce caractère anormalement « clair » est lié à l'utilisation par l'Homme (surpâturage, par exemple).
- ectopique** qualifie un solum qui n'est pas situé dans la zone climatique d'existence habituelle de la Référence à laquelle il a été rattaché.
- éluvié** marque la présence d'un horizon E dans un solum où le E n'est pas obligatoire (par exemple, certains FER-SIALSOLS).
- à encroûtement calcaire** cf. calcarique et pétro-calcarique.
- engorgé, à engorgements** qualifie un solum lorsque des excès d'eau ont été observés, à certaines périodes, mais que cela ne s'exprime pas morphologiquement.
- entassé** qualifie un PEYROSOL sans organisation particulière, où l'organisation de la roche dure n'est plus conservée.
- en voie de** (terme syntaxique) indique qu'une nouvelle pédogenèse a pu être décelée mais que celle-ci n'a pas encore profondément modifié la morphologie du solum.
- d'érosion** qualifie un solum dont la présence résulte d'une érosion récente.



**eutrique** qualifie un horizon ou un solum dont le rapport S/T > 50 %.

## F

**ferrolytique** qualifie un solum où la destruction des minéraux argileux est attribuée à la ferrololyse.

**ferro-graveleux** qualifie un solum présentant une grande abondance de graviers ferrugineux (hérités).

**ferro-nodulaire** qualifie un solum présentant une grande abondance de nodules ferrugineux (formés en place).

**ferrugineux** qualifie un solum riche en fer ou comportant un horizon très riche en fer (BT<sub>fe</sub>, FE, ou cuirasse).

**fersiallitique** qualifie un solum présentant des caractères fersiallitiques ou PEYROSOL dont la terre fine présente les caractères fersiallitiques.

**fertilisé** solum dont les propriétés chimiques ont été profondément modifiées par la fertilisation.

**fibrique** marque la présence, prédominante ou non, d'horizons H<sub>f</sub>.

**fimique** qualifie un solum dont l'horizon de surface est devenu très humifère par suite d'épandages répétés de fumiers ou lisiers. Un horizon L fimique est très épais (plus de 30 cm) et contient généralement des débris de briques ou de poteries sur toute son épaisseur. Sa teneur en éléments nutritifs est très élevée, notamment en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (plus de 250 mg/kg, extraction à l'acide citrique).

**fluvique** qualifie un solum (autre que FLUVIOSOLS) qui se situe en position de vallée (lits majeur ou mineur), développé dans des matériaux alluviaux récents.

**fossilisé** qualifie un solum dont l'évolution pédogénétique est arrêtée depuis des siècles, suite, par exemple, à un changement climatique.

**à fragipan** qualifie un solum qui présente un horizon de fragipan (BT<sub>x</sub>).

**fragique** qualifie un solum dont un horizon présente une structure massive et une sous-structure lamellaire (horizons BT<sub>x</sub>, Ex, S<sub>x</sub>).

## G

**à garluche, à grepp, à grison** solum comportant ces faciès d'horizons FEm.

**gigaliotique** qualifie un solum de PODZOSOL présentant un horizon BP cimenté (« alios ») de plus de 50 cm d'épaisseur.

<b>glacique</b>	qualifie un CRYOSOL dans lequel il existe une couche de glace de plus de 30 cm d'épaisseur dont le toit se trouve à moins de 1 m de la surface.
<b>glossique</b>	qualifie un solum dans lequel la transition E/BT ou E/S ou E/FS ou A/S prend la forme de langues.
<b>graveleux</b>	solum ou horizon où la charge en graviers excède 40 % en poids de la terre totale sèche.
<b>gypseux</b>	qualifie un solum (autre que GYPSOSOL) dont un horizon comporte du gypse.
<b>gypsique</b>	qualifie un solum présentant une accumulation de gypse = à horizon Yp (qualifie des non-GYPSOSOLS).

## H

<b>halloysitique</b>	dont les minéraux argileux sont surtout des halloysites.
<b>haplique</b>	qualifie un solum ne présentant pas de caractères ou d'horizons de référence supplémentaires par rapport au concept central de la Référence (du grec haplos = simple).
<b>hémi-organique</b>	qualifie un THIOSOL ou un SULFATOSOL comportant un horizon hémi-organique (cf. aussi Lexique).
<b>histique</b>	qualifie un solum (autre que HISTOSOL) qui comporte un ou des horizons H en surface.
<b>holorganique</b>	qualifie un solum (autre que HISTOSOL) dont la terre fine est entièrement organique (horizons O ou H) - (cf. aussi Lexique).
<b>hortique</b>	qualifie un solum ayant subi une fertilisation intense et ancienne (jardins, maraîchage).
<b>humifère</b>	qualifie un horizon ou un solum qui contient beaucoup plus de carbone organique que la norme. Ce terme qualifie des horizons non holorganiques (notation -h pour un horizon).
<b>humique</b>	qualifie un solum dont les horizons supérieurs sont caractérisés par une grande richesse en matières organiques et qui présente donc, sur au moins 20 cm d'épaisseur, une couleur noire.
<b>à hydromoder, à hydromor, à hydromull...</b>	
<b>à hydromorphie fossile</b>	les signes d'hydromorphie visibles sur un solum ne correspondent pas à des engorgements actuels mais à des conditions d'évolution anciennes (cf. « paléo- »).
<b>hyper-calcaire</b>	qualifie un horizon ou un solum carbonaté contenant plus de 40 g/100g de calcaire total et, en même temps, plus de 15 g/100g de calcaire « actif ».

- hyper-magnésique** qualifie un horizon ou un solum saturé, subsaturé ou resaturé, dans lequel le rapport  $Ca^{++}/Mg^{++}$  est  $< 0,2$ .
- hypo-calcaire** qualifie un horizon ou un solum carbonaté contenant moins de 15 g/100g de calcaire total (dans la terre fine).

### I - J - K

- d'illuviation** qualifie un PLANOSOL dont l'illuviation d'argile est la cause principale de la différenciation texturale (donc à horizon BT).
- indifférencié** qualifie un SODISOL sans migration verticale d'argile et sans différenciation texturale.
- insaturé** qualifie un horizon ou un solum dont le rapport S/T est inférieur à 80 %.
- insaturé en surface**
- interstratifié** qualifie un HISTOSOL dans lequel des matériaux minéraux sont intercalés.
- irragrique** qualifie un solum ayant subi des irrigations répétées avec des eaux riches en sédiments.
- iso-** (préfixe) indique que le caractère s'applique à l'ensemble des horizons pédologiques du solum. Par exemple : iso-argileux, iso-calcaire.
- issu de** (terme syntaxique) signifie que le solum considéré provient directement de l'altération *in situ* de la roche-mère dont la description suit (s'oppose à « sur »).
- jarositique** qualifie un THIOSOL présentant des taches de jarosite dans les 50 premiers cm, mais de consistance  $n > 1,4$ . Qualifie également un solum dans lequel un horizon à jarosite apparaît à plus de 60 cm de profondeur (et à moins de 125 cm).
- jaune** qualifie un solum ou un horizon fersiallitique de couleur 7,5 YR ou plus jaune.
- juvénile** qualifie un solum dont l'évolution et la différenciation morphologique est suffisante pour être rattaché à une Référence mais qui n'a pas encore atteint un stade d'évolution complet (cf. « néo- » et « en voie de »).
- kaolinitique** dont les minéraux argileux sont surtout des kaolinites.

### L

- leptique** qualifie un solum d'épaisseur plus faible que la norme (sans compter l'horizon C, ni les couches M, D et R).
- à lézines** qualifie un solum présentant des lézines en profondeur (cf. lexique).

<b>de lézines</b>	qualifie un LITHOSOL avec de la terre fine remplissant des lézines (cf. Lexique).
<b>limnique</b>	qualifie un HISTOSOL dans lequel on observe la présence d'un matériau limnique de plus de 5 cm d'épaisseur.
<b>limono-illuvial</b>	qualifie un CRYOSOL dans lequel une accumulation limoneuse illuviale peut être observée.
<b>lithique</b>	qualifie un solum (autre que LITHOSOL) dans lequel une couche R débute entre 10 et 50 cm de profondeur.
<b>lithochrome</b>	qualifie un solum dont la couleur est due aux constituants de la roche-mère et non à l'évolution pédologique.
<b>luvique</b>	qualifie un solum présentant des traits d'illuviation d'argile, insuffisants cependant pour constituer un véritable horizon BT (BRUNISOLS, ARÉDOSOLS, etc.).
<b>M</b>	
<b>magnésien</b>	qualifie un SODISOL où le magnésium est nettement dominant par rapport au sodium et surtout au calcium sur le complexe adsorbant.
<b>magnésique</b>	qualifie un horizon ou un solum saturé, subsaturé ou resaturé, dans lequel le rapport $Ca^{++}/Mg^{++}$ est $< 2$ (mais supérieur à 0,2). Pas d'effervescence à froid ni à chaud.
<b>mélangé</b>	qualifie un solum dont l'horizonation naturelle a été complètement détruite par l'activité humaine et mélange d'horizons.
<b>mélanisé</b>	qualifie un solum ou un horizon ayant acquis une couleur très foncée bien que le taux de carbone organique demeure modeste.
<b>mélanoluviq</b>	qualifie un solum dont certains horizons sont riches en revêtements argileux humifères noirs ou gris.
<b>méridional</b>	qualifie un CHERNOSOL de la province la plus méridionale (Bulgarie). Le climat peu froid (pas de gel prolongé) est responsable d'une plus forte minéralisation des matières organiques, de teneurs en carbone moindres et d'une couleur moins noire.
<b>mésique</b>	marque la présence, prédominante ou non, d'horizons Hm.
<b>méso-saturé</b>	qualifie un horizon ou un solum dont le rapport S/T est compris entre 50 et 80 %.
<b>à micro-podzol</b>	un épisolum podzolique E + BP ou A + BP existe, sur une épaisseur $< 20$ cm, en surface et au-dessus d'un solum permettant de définir une autre Référence. Qualifie des non-PODZOSOLS.

- modal** terme non recommandé car signifie « le plus fréquent » et non pas « le plus typique ». Préférer le terme « typique ».
- à moder, à mor, à mull** (cf. annexe 1).
- montagnard** qualifie un solum caractéristique de l'étage de végétation montagnard.

## N

**à nappe, à nappe perchée (temporaire ou permanente), à nappe salée, à nappe souterraine, etc.** (cf. liste p. 73).

- néoluvique** qualifie un solum montrant un début d'illuviation d'argile sous la forme de quelques revêtements argileux, sans que l'on puisse reconnaître un véritable horizon BT (par exemple, présence d'un horizon St).
- nivelé** qualifie un ANTHROPOSOL dont la surface a été nivelée par l'Homme.
- nodulaire** qualifie un PODZOSOL comportant des nodules ferrugineux dans les horizons BP.
- noir** qualifie un horizon ou un solum de couleurs 3/1, 2/1, 3/0 ou 2/0 à l'état humide.

## O

- ocreux** qualifie un ALOCRISOL dont l'horizon Sal présente une couleur de *chroma* > ou = 7.
- oligo-saturé** qualifie un horizon ou un solum dont le rapport S/T est compris entre 20 et 50 %.
- ondulique** qualifie un solum dont une limite majeure entre horizons présente la forme d'ondes ayant environ 50 cm d'amplitude verticale pour une amplitude latérale d'environ un mètre.
- organisé** qualifie un PEYROSOL dont les pierres montrent une organisation, différente de celle de la roche sous-jacente en place.

## P - Q

- pachique** qualifie un solum d'épaisseur particulièrement grande par rapport à une norme (sans compter l'horizon C ni les couches M, D et R). Pour les PODZOSOLS : épaisseur supérieure à 200 cm. Pour les LUVISOLS : horizon BT débutant à plus de 1 m, etc.
- paléo-** (préfixe) indique un processus visible morphologiquement mais qui n'est plus fonctionnel. Exemples : paléo-luvique, paléo-podzolique, etc.

<b>paléo-luviq</b>	qualifie un solum qui présente encore des horizons profonds de type BT mais qui ne correspondent plus au fonctionnement actuel du solum.
<b>palusmectique</b>	qualifie un TOPOVERTISOL qui se situe en position basse et s'est développé dans un ancien marais, naturellement ou artificiellement assaini.
<b>à pavage</b>	qualifie un non-PEYROSOL à la surface duquel existe un mince horizon pierrique ou cailloutique dépourvu de terre fine.
<b>pédomorphe</b>	qualifie un solum (PLANOSOL, PÉLOSOL) dont la différenciation texturale est d'origine pédologique (s'oppose à sédimorphe).
<b>pénévolué</b>	qualifie un CRYOSOL MINÉRAL où l'on peut distinguer clairement soit une horizonation peu perturbée par la cryoturbation, soit une horizonation recoupant des traits cryoturbés inactivés temporairement, avec un horizon Jp d'épaisseur inférieure à 10 cm.
<b>à pergélisol</b>	
<b>pétrique</b>	qualifie un CALCARISOL à horizon Km.
<b>péto-calcarique</b>	qualifie un solum (autre que CALCARISOL) comportant un horizon Km ou PEYROSOL formé de débris de croûte calcaire.
<b>péto-ferrique</b>	qualifie un solum comportant un horizon FEm.
<b>pierreux</b>	qualifie un solum ou un horizon où la charge en pierres excède 40 % en poids de la terre totale sèche.
<b>placique</b>	qualifie un solum comportant un horizon placique.
<b>plaggique</b>	qualifie un solum rendu très humifère et sur-épaissi par additions répétées de plaques de gazon ou de « terre de bruyère » (Plaggenboden).
<b>planosolique</b>	qualifie un solum où il y a passage sub-horizontale et sans transition entre un horizon E et un horizon BT ou entre un horizon E et un horizon S ou entre un E et un FS (qualifie des non-PLANOSOLS).
<b>podzolisé</b>	qualifie un horizon ou un solum dans lequel un processus de podzolisation peut être mis en évidence par des indices morphologiques, physico-chimiques ou minéralogiques sans qu'on puisse identifier un véritable horizon BP.
<b>de polder</b>	
<b>polycyclique</b>	qualifie un solum dont la pédogenèse actuelle se superpose à une pédogenèse antérieure différente, laquelle explique certains caractères morphologiques ou minéralogiques.
<b>polygénétique</b>	synonyme de polycyclique.

<b>provenant de</b>	terme syntaxique permettant de signaler l'origine pédologique d'un matériau terreux constituant désormais un ANTHROPOSOL RECONSTITUÉ.
<b>pseudo-</b>	(préfixe) qualifie un solum qui simule une Référence mais par superposition d'apports successifs.
<b>quasi-</b>	(préfixe) qualifie un solum qui correspond presque à un...
<b>R</b>	
<b>recouvert</b>	qualifie un HISTOSOL qui comporte un matériau terreux de moins de 40 cm au-dessus d'horizons histiques.
<b>recarbonaté</b>	qualifie un solum ou un horizon dont la terre fine a été recarbonatée par un processus mécanique (colluvionnement, travaux culturaux).
<b>rédoxique</b>	qualifie un solum où un horizon g ou -g débute entre 50 et 80 cm de profondeur.
<b>à horizon rédoxique de profondeur</b>	qualifie un solum où un horizon g ou -g débute entre 80 et 120 cm de profondeur.
<b>réductique</b>	qualifie un solum où un horizon G débute entre 50 et 80 cm de profondeur.
<b>à horizon réductique de profondeur</b>	qualifie un solum où un horizon G débute entre 80 et 120 cm de profondeur.
<b>régosolique</b>	qualifie un CRYOSOL MINÉRAL où l'on passe directement de l'horizon H à des horizons C ou des couches M cryoturbés ; l'horizon H peut être totalement absent.
<b>resaturé</b>	qualifie un solum dont on sait qu'il était naturellement insaturé et dont le rapport S/T a été remonté à plus de 80 %, en conséquence d'une mise en culture.
<b>à ressuyage accéléré</b>	la fissuration « en grand » de la roche sous-jacente et/ou la position géomorphologique conduit à une accélération du ressuyage. L'eau passe très vite à travers la couverture pédologique et va ensuite circuler rapidement dans la masse de la roche. En conséquence, le pédoclimat est relativement sec, les données pluviométriques ne constituant pas un bon indicateur de l'ambiance hydrique du solum.
<b>à ressuyage ralenti</b>	la faible macroporosité du solum et de la roche sous-jacente conduit à un ralentissement considérable du ressuyage.
<b>rizicultivé</b>	solum qui est cultivé en rizière inondée. Les fonctionnements hydrique, physico-chimique et biologique du solum sont complètement modifiés par l'inondation des champs une ou deux fois par an, pendant des siècles, pour la production du riz.

<b>rouge</b>	qualifie un solum ou un horizon de couleur 5 YR ou plus rouge (faces d'agrégats à l'état humide).
<b>rougeâtre</b>	qualifie un solum ou un horizon de couleur 7,5 YR (faces d'agrégats à l'état humide).
<b>rouillé</b>	qualifie un ARÉNOSOL présentant un horizon de couleur rouille sous l'horizon de surface, mais sans les caractères requis pour être rattaché aux PODZOSOLS.
<b>rudérique</b>	qualifie un ANTHROPOSOL ARTIFICIEL constitué par des décombres (produits de démolition de maisons, routes, etc.).
<b>rubique</b>	qualifie un SULFATOSOL dans lequel l'horizon sulfaté est surmonté d'un horizon à taches rouges d'oxydes de fer (hématite) résultant de l'hydrolyse de la jarosite.
<b>ruptique</b>	qualifie un solum à horizons interrompus latéralement, à échelle métrique.

## S

<b>salin</b>	qualifie un solum ou un horizon dans lequel est reconnu une certaine abondance de sels plus solubles que le gypse, mais dont la conductivité électrique est en deçà des normes de définition de l'horizon salique.
<b>salique</b>	qualifie un solum (autre que SALISOL) dans lequel un horizon salique est reconnu à plus de 60 cm de profondeur (et à moins de 125 cm).
<b>saprique</b>	marque la présence, prédominante ou non, d'horizons Hs.
<b>saturé</b>	qualifie un horizon ou un solum non carbonaté dont le complexe adsorbant est entièrement occupé par les cations échangeables alcalino-terreux et alcalins et principalement par $\text{Ca}^{++}$ et $\text{Mg}^{++}$ (d'où un rapport S/T = $100 \pm 5$ %).
<b>scellé</b>	qualifie un ANTHROPOSOL dont la surface a été « fermée » par un revêtement de chaussée.
<b>sédimorphe</b>	qualifie un PLANOSOL ou un PÉLOSOL DIFFÉRENCIÉ dont la différenciation texturale est la conséquence de la nature complexe de la roche-mère (s'oppose à pédo-morphe).
<b>smectitique</b>	dont les minéraux argileux sont surtout des smectites.
<b>sodique</b>	qualifie un solum (autre que SODISOL) dans lequel un horizon sodique apparaît à plus de 60 cm de profondeur (et à moins de 125 cm).



<b>sodisé</b>	qualifie un solum ou un horizon dans lequel est reconnue une certaine abondance de sodium sur le complexe adsorbant mais en deçà des normes de définition de l'horizon sodique.
<b>sombre</b>	qualifie un horizon ou un solum non noir, de couleurs 4/1, 4/2, 3/2, 2/2 ou 3/3 à l'état humide.
<b>sous climat...</b>	ce type de périphrase permet de signaler que le solum est situé sous telle ou telle zone climatique : aride, xérique, continental, méditerranéen, tempéré, océanique, etc.
<b>soutré</b>	qualifie un solum dont on sait qu'il a subi la pratique du soutrage (exportation de la litière et parfois de l'horizon de surface).
<b>sphagno-fibrique</b>	qualifie un HISTOSOL FIBRIQUE composé pour plus des 3/4 en volume, de fibres de sphagnum.
<b>strict</b>	qualifie un LITHOSOL réduit à la roche massive nue. Terre fine < 1 kg/m <sup>2</sup> .
<b>à structure lithique</b>	qualifie un PEYROSOL dans lequel l'organisation de la roche dure est conservée et les vides résultent de l'agrandissement de fissures.
<b>subalpin</b>	qualifie un solum caractéristique de l'étage de végétation subalpin.
<b>subsaturé</b>	qualifie un horizon ou un solum non carbonaté dont le rapport S/T est compris entre 95 et 80 %.
<b>sulfaté</b>	qualifie des SODISALISOLS ou SALISODISOLS dont les sels solubles sont principalement des sulfates.
<b>sulfidique</b>	qualifie un solum comportant un matériau sulfidique en profondeur.
<b>superposé à</b>	(terme syntaxique) à utiliser quand il y a deux solums superposés.
<b>sur</b>	indique que le solum étudié ne semble pas provenir directement de la roche sous-jacente qui est donc considérée comme un substrat (cf. « de » et « issu de »).
<b>surrédoxique</b>	qualifie un solum dans lequel le caractère rédoxique apparaît dans les 20 premiers cm.
<b>T</b>	
<b>à tangel</b>	signale la présence d'un épisolum de type tangel.
<b>de terrassette</b>	qualifie un solum dont la morphologie initiale a été fortement modifiée par un aménagement en terrassettes.

<b>terreux</b>	marque la présence d'un matériau terreux dans un HISTOSOL en certaines conditions de profondeur.
<b>tronqué</b>	qualifie un solum dont on sait que les horizons superficiels ont été enlevés par érosion.
<b>typique</b>	qualifie un solum qui correspond parfaitement à la définition et au concept central. Ce terme est préférable à « modal ».

**U - V**

<b>urbain</b>	qualifie un solum situé dans une zone urbaine et ayant subi au moins une des modifications « anthropo-pédogénétiques » de ce type de milieu (cf. chap. ANTHROPOSOLS).
<b>vermihumique</b>	qualifie un épisolum humifère particulier, très épais et de couleur sombre ou noire, formé par l'action principale des vers de terre (caractère biomacrostructuré).
<b>vertique</b>	qualifie un solum dont certains horizons de profondeur présentent des caractères vertiques sans qu'il s'agisse d'un véritable VERTISOL.
<b>vide</b>	qualifie un PEYROSOL qui ne contient pas de terre fine sur au moins 30 cm depuis la surface.

**X**

<b>xanthomorphe</b>	qualifie un solum qui présente un (ou des) horizon(s) à caractère xanthomorphe (Sj, Scij ou BTj)
---------------------	--

## **Qualificatifs et vocabulaire spécifiques des phénomènes d'excès d'eau (hors HISTOSOLS)**

Disjonction morphologie/fonctionnement hydrique actuel

- à hydromorphie fossile
- assaini

Forme et origine de l'excès d'eau

- à nappe perchée<sup>1</sup> temporaire d'origine pluviale
- à nappe perchée<sup>1</sup> temporaire d'origine pluviale et apports latéraux
- à nappe perchée<sup>1</sup> temporaire, stagnante ou circulante
- à nappe perchée<sup>1</sup> quasi-permanente 1
- à nappe souterraine, libre<sup>1</sup> ou captive<sup>1</sup>
- à nappe souterraine, douce ou salée
- à nappe souterraine, à battements de faible ou forte amplitude

1. Cf. lexique pour les définitions.

- à deux nappes
- à submersions par ruissellement ou inondation, fréquentes ou épisodiques
- de mouillère, temporaire ou quasi-permanente,
- à imbibition capillaire <sup>1</sup>
- d'origine culturale (semelle de labour, horizon tassé...)

#### Intensité de l'hydromorphie dans l'horizon rédoxique

- à horizon rédoxique peu tacheté (taches couvrant de 2 à 20 % de la surface de l'horizon)
- à horizon rédoxique tacheté (taches couvrant de 20 à 40 %)
- à horizon rédoxique bariolé (abondance sensiblement égale de taches d'oxydation et de réduction)
- à horizon rédoxique décoloré (ou albique)
- surrédoxique (le caractère rédoxique apparaît dans les 20 premiers cm).

#### Présence d'horizon (s) riche (s) en matière organique

- à anmor, acide ou calcique
- à horizon histique = histique

#### Présence d'horizons d'accumulation dans le solum

- à horizon ferrique = ferrique
- à horizon pétro-ferrique = pétro-ferrique ou placique
- à horizon gypsique = gypsique

#### Traits particuliers du solum

- à horizon histique entre 50 et 80 cm
- à lentilles de sable fin entre 80 et 100 cm
- à argile plastique...
- plancher à x cm

#### Présence d'aménagements fonciers

- à drainage souterrain, par fossés, ancien ou récent
- irrigué, par submersion, par aspersion, autre moyen...

#### Position topographique

- en position de cuvette
- de bas de pente
- de bras mort...

## Qualificatifs liés au taux de saturation

### † Définitions - Tolérances

Taux de saturation = rapport S/T exprimé en %

S : somme des cations échangeables alcalino-terreux et alcalins Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, K<sup>+</sup> et Na<sup>+</sup> de l'horizon ;

T : CEC de l'horizon.

S et T sont déterminés après percolation à l'acétate d'ammonium tamponné à pH 7.

Pour tous les seuils proposés ci-dessous, une tolérance de + ou - 5 % est admise.

## Rapport S/T

- saturé** qualifie un horizon ou un solum **non carbonaté** dont le complexe adsorbant est entièrement saturé par les cations échangeables alcalino-terreux et alcalins et principalement par  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$  (d'où un rapport S/T =  $100 \pm 5$  %).
- subsaturé** qualifie un horizon ou un solum **non carbonaté** dont le rapport S/T est compris entre 95 et 80 %.
- mésosaturé** qualifie un horizon ou un solum dont le rapport S/T est compris entre 80 et 50 %.
- oligosaturé** qualifie un horizon ou un solum dont le rapport S/T est compris entre 50 et 20 %.
- désaturé** qualifie un horizon ou un solum dont le rapport S/T est inférieur à 20 %.
- insaturé** qualifie un horizon ou un solum dont le rapport S/T est inférieur à 80 %.
- resaturé** qualifie un horizon ou un solum dont on sait qu'il était naturellement insaturé et dont le rapport S/T a été remonté à plus de 80 %, en conséquence d'une mise en culture.

## Taux de saturation : 2 échelles, au choix

	5 classes	ou seulement 2 (cf. FAO)
S/T $\geq$ 95 %	saturé (ou resaturé)	} eutrique
80 % < S/T < 95 %	subsaturé (ou resaturé)	
50 % < S/T < 80 %	mésosaturé	
20 % < S/T < 50 %	oligosaturé	} insaturé
S/T < 20 %	désaturé	
		} dystrique

*Remarque* : Si tous les horizons d'un même solum ne présentent pas la même classe de saturation, le qualificatif qui s'appliquera au solum dans son ensemble dépendra du taux de saturation mesuré dans l'horizon de moyenne profondeur (BT, FS, V ou S). On pourra en outre employer des qualificatifs additionnels tels que (par exemple) : « resaturé en surface » ou « mésosaturé en surface ».

## Abondance relative de $\text{Ca}^{++}$ et $\text{Mg}^{++}$

(horizons ou solums non carbonatés : saturés, subsaturés ou resaturés).

- calciq** qualifie un horizon ou un solum saturé, subsaturé ou resaturé, dans lequel  $\text{Ca}^{++}$  est largement dominant (rapport  $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++} > 5$ ). Pas d'effervescence ou seulement localement ou ponctuellement.
- calcimagnésique** qualifie un horizon ou un solum saturé, subsaturé ou resaturé, dans lequel le rapport  $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$  est compris entre 5 et 2. Pas d'effervescence ou seulement localement ou ponctuellement.
- magnésique** qualifie un horizon ou un solum saturé, subsaturé ou resaturé, dans lequel le rapport  $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$  est  $< 2$  (mais supérieur à 0,2). Pas d'effervescence à froid ni à chaud.
- hyper-magnésique** qualifie un horizon ou un solum saturé, subsaturé ou resaturé, dans lequel le rapport  $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$  est  $< 0,2$ .

## Potentiel hydrogène

$\text{pH}_{\text{eau}}$  (rapport sol/eau = 1/2,5) - tolérance :  $\pm 0,2$  unité

	$\text{pH}_{\text{eau}}$
<b>très basique</b>	$> 8,7$
<b>basique</b>	7,5 à 8,7
<b>neutre</b>	6,5 à 7,5
<b>peu acide</b>	5,0 à 6,5
<b>acide</b>	4,2 à 5,0
<b>très acide</b>	3,5 à 4,2
<b>hyper-acide</b>	$< 3,5$

# PROFONDEURS ET ÉPAISSEURS DÉCOMPTE - TOLÉRANCES

## Décompte des profondeurs

Du haut en bas des solums ; horizons OL exclus. Expression en centimètres.

## Tolérances pour les seuils de profondeurs ou d'épaisseurs

Les seuils d'épaisseurs ou de profondeurs présentés dans le Référentiel sont indicatifs et ne doivent pas être employés mécaniquement. Le pédologue conserve une certaine marge de liberté vis-à-vis des valeurs proposées. Encore faut-il qu'il dispose d'arguments pédogénétiques ou fonctionnels pour faire jouer cette tolérance.

10 cm	plus ou moins 5 cm	=	5 à 15 cm
20 cm	plus ou moins 5 cm	=	15 à 25 cm
30 cm	plus ou moins 10 cm	=	20 à 40 cm
40 cm	plus ou moins 10 cm	=	30 à 50 cm
50 cm	plus ou moins 10 cm	=	40 à 60 cm
80 cm	plus ou moins 15 cm	=	65 à 95 cm
120 cm	plus ou moins 20 cm	=	100 à 140 cm
140 cm	plus ou moins 20 cm	=	120 à 160 cm



**Présentation  
des grands ensembles  
de références  
(GER)**





# ALOCRISOLS

P. Arousseau et D. Baize

Les ALOCRISOLS se caractérisent par la séquence d'horizons A/Sal (S « aluminique »). Ils correspondent à l'ancien concept de « sols bruns acides » et à la part des « sols bruns ocreux » qui ne satisfont pas aux critères de l'horizon podzolique BP. Certains solums anciennement dénommés « Rankers alpins » et « Rankers humifères » sont inclus désormais dans le concept d'ALOCRISOL HUMIQUE.

On les observe le plus souvent sous forêts ou végétation naturelle, développés à partir d'altérites de roches cristallines acides (« arènes ») ou d'altérites de schistes, dans le Massif armoricain, dans les Vosges, en Morvan, dans le Massif central, etc.

## Horizon de référence : l'horizon Sal

Il est défini par sa géochimie dominée par des composés minéraux de l'aluminium dans la solution du sol ( $Al^{+++}$ ,  $[Al(OH)_x]_n^{n(3-x)}$ ) et par une structure spécifique. Celle-ci résulte de la combinaison et/ou de l'association d'une structure polyédrique subanguleuse et d'une structure grumeleuse très fine (microgrumeleuse). Il se situe sous un horizon A désaturé ou oligo-saturé plus ou moins riche en matières organiques.

A l'examen micromorphologique, l'horizon Sal présente des micro-agrégats ronds ou ovoïdes de 30  $\mu m$  à plus de 100  $\mu m$ , libres ou plus ou moins agglomérés ; ces micro-agrégats sont colorés en jaune, ocre ou brun clair en lames minces.

Ses caractéristiques analytiques sont :

- pH acide ou très acide, < 5,0, tamponné par l'aluminium ;
- $Al^{+++}$  (extrait par KCl, N) varie de 2 à 8 cmol<sup>+</sup>/kg de terre fine ;
- $Al^{+++}$  représente de 20 à 50 % de la CEC ;
- rapport  $Al^{+++}/S > 2$ , pouvant atteindre 20 ;
- taux de saturation très faible, rapport  $S/T < 30$  % (le plus souvent < 20 %) ;
- dans la fraction argile, les vermiculites sont en majorité aluminisées sous forme de vermiculites hydroxy-alumineuses.

Suite à l'altération des minéraux primaires, l'horizon S aluminique présente souvent des taux d'argile supérieurs à ceux des horizons ou couches sous-jacentes. Il n'en demeure pas moins qu'un processus d'éluviation d'argile s'y développe souvent. C'est pourquoi cet horizon peut présenter, dans certains sites de sa partie inférieure, des traits d'accumulation d'argile, visibles en microscopie.

### ALOCRISOLS TYPIQUES

Ils présentent un solum diagnostique de type A/Sal/C ou R ou Ah/Sal/C ou R (type humifère).

L'horizon A est soit un A biomacrostructuré, clair, peu épais, à structure fragile soit un A d'insolubilisation. Au plan physico-chimique, il présente des caractères qui le rapprochent de l'horizon Sal : son pH est inférieur à 5,0, tamponné par l'aluminium. La forme d'humus la plus typique est un oligomull.

L'horizon Sal présente en général une teinte 7,5 YR ou 10 YR, un *chroma* de 4 à 8, une *value* de 5 ou 6. On peut y observer des taches plus brunes 7,5 YR ou 10 YR 5/4 ou 4/4, associées à des racines ou à des chenaux.

Dans certains cas, l'horizon C sous-jacent peut présenter des traits d'accumulation d'argile, sous forme diffuse, en raies ou en bandes. Cette information supplémentaire doit être notée en utilisant le qualificatif « bathyluvique » = « à accumulation d'argile en profondeur ».

### Qualificatifs utiles pour les ALOCRISOLS TYPIQUES

<b>humifère</b>	à horizon Ah qui contient plus de 4 % de C organique sur au moins 20 cm d'épaisseur
<b>brun</b>	à horizon Sal « brun » ( <i>chroma</i> Munsell < ou = 6)
<b>ocreux</b>	à horizon Sal « ocreux » ( <i>chroma</i> Munsell > ou = 7)
<b>pachique</b>	épaisseur cumulée de A + Sal > 60 cm
<b>bathyluvique</b>	à accumulation d'argile en profondeur, souvent dans l'altérite sous-jacente.

à oligomull, à dysmull, à eumoder, etc.

### ALOCRISOLS HUMIQUES

Suite à des conditions pédoclimatiques rudes (situation d'ubac ou climat général froid) ou à des effets de toxicité, l'activité biologique est faible, la minéralisation des matières organiques se fait mal et celles-ci s'accumulent en surface mais imprègnent aussi la partie supérieure du solum sur les 40 à 80 premiers centimètres. D'où une couleur très foncée masquant, totalement ou en partie, la coloration « ocreuse » caractéristique des ALOCRISOLS TYPIQUES. Le solum est de type Ah/Salh/C ou R ou Ah/Salh/Sal/C ou R.

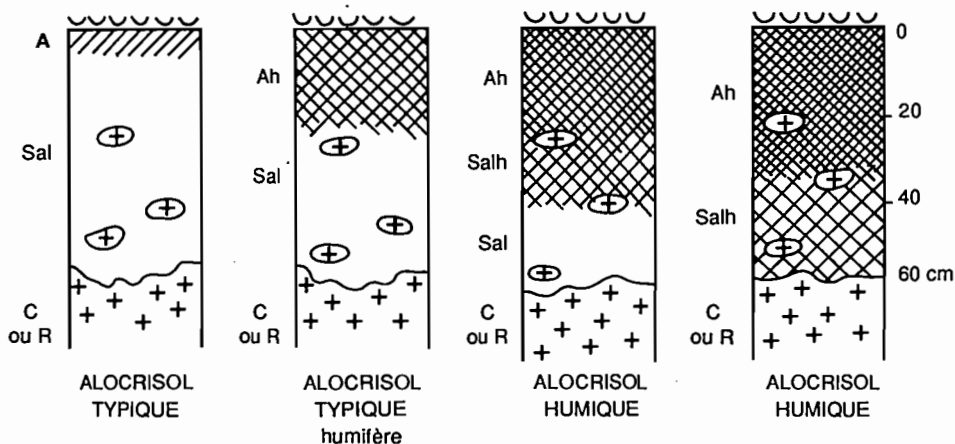
L'horizon Ah est très acide, riche en aluminium ; il présente une structure micro-grumeleuse très aérée et des teneurs en matières organiques très élevées : de 6 à 20 % de carbone organique dans l'horizon de surface Ah<sub>1</sub>, et de 4 à 12 % en dessous (horizon Ah<sub>2</sub>). Sa couleur à l'état humide est presque noire (2/2 ou 3/2).

L'horizon Salh se différencie peu des horizons Ah sus-jacents. Il présente les propriétés physico-chimiques et structurales habituelles mais sa couleur est brun foncé (*value* 3 ou 4 ; *chroma* 3 ou 4), en relation avec des teneurs en carbone supérieures à 2 %.

Les ALOCRISOLS HUMIQUES sont difficiles à distinguer morphologiquement des PODZOSOLS RANKERS. Une étude analytique peut être nécessaire, particulièrement celle de la distribution de l'aluminium.

### Qualificatifs utiles pour les ALOCRISOLS HUMIQUES

- pachique** épaisseur cumulée de Ah + Salh + Sal > 60 cm  
**bathyluvique** à accumulation d'argile en profondeur, souvent dans l'altérite sous-jacente.



### Relations avec d'autres GER

Dans l'espace multidimensionnel du Référentiel, les ALOCRISOLS ont une position intermédiaire entre les PODZOSOLS, les ALUANDOSOLS, les BRUNISOLS OLIGOSATURÉS, les LUVISOLS TYPIQUES et les LUVISOLS DÉGRADÉS.

*Remarque :* en règle générale, la mise en culture ou en prairie, accompagnée ou non d'une fertilisation, modifie complètement le fonctionnement physico-chimique des sols qui perdent souvent leur structure micro-grumeleuse et passent en quelques années à des BRUNISOLS OLIGOSATURÉS ou à des BRUNISOLS MÉSOSATURÉS, plus ou moins humifères.

**Exemples de types**

ALOCRI SOL TYPIQUE	ocreux, pachique, sablo-argileux, d'arène gneissique
ALOCRI SOL TYPIQUE	ocreux, limoneux, de schistes pourpres
ALOCRI SOL TYPIQUE	brun, bathyluvique, sablo-limoneux, d'arène granitique
ALOCRI SOL HUMIQUE	caillouteux, à dysmoder, de forte pente, issu d'un granite à 2 micas (Morvan nord)
ALOCRI SOL HUMIQUE	sablo-graveleux, à moder, de replat, sous pelouse à Éricacées, issu de granite (Hautes Vosges)

# ANDOSOLS ET VITROSOLS

P. Quantin

Les Andosols sont des solums dont les propriétés sont largement déterminées par la nature de leur fraction colloïdale non cristalline ou paracristalline. Les SILANDOSOLS neutres ou faiblement acides ( $\text{pH}_{\text{eau}} >$  ou égal à 5,0) sont dominés par des complexes minéraux paracristallins (allophane, imogolite, hisingerite, ferri-hydrate, etc., associés avec des acides humiques. Dans les ALUANDOSOLS acides ( $\text{pH}_{\text{eau}} <$  5,0), les complexes consistent principalement en chélates assez peu mobiles (acides humiques liés à de l'aluminium et du fer), ils ne contiennent pas ou peu d'allophanes dans la partie supérieure du solum. La fraction colloïdale a les propriétés d'un gel.

Les Andosols présentent typiquement des horizons supérieurs de couleur sombre, souvent très humifères, avec une structure microgrumeleuse (« *fluffy* » ou « farineuse ») et une texture d'apparence limoneuse. Certains horizons de profondeur sont de couleur plus vive et montrent une structure également microgrumeleuse ou granulaire fine. La couleur change considérablement après séchage. Les Andosols sont faiblement collants, peu plastiques et friables à très friables. Ils ne présentent ni horizons éluviaux ni horizons d'illuviation d'argile ou d'humus. De minces horizons d'accumulation d'oxydes de fer (horizons placiques) peuvent parfois exister.

Les Andosols (du japonais An = noir et do = sol) ont été d'abord reconnus au Japon en 1947. En 1949, Thorp et Smith ont défini le Grand Groupe des « Andosols ». Ces sols ont aussi été nommés d'après leur matériau originel pyroclastique, par exemple « sols des cendres volcaniques » (FAO, 1964). Ils sont équivalents des Andisols récemment définis dans la *Soil Taxonomy* (1992) et des Andosols de la *World Reference Base for Soil Resources* (1994).

Les Andosols sont relativement ubiquistes ; ils couvrent plus de 100 millions d'hectares à travers le monde surtout dans des régions de volcanisme actif ou récent. Ils existent sous une large gamme de climats, dans différents paysages, se développent à partir de matériaux parentaux variés et peuvent différer considérablement quant à leur âge. Ils proviennent principalement de matériaux volcaniques pyroclastiques récents, mais ils ont aussi été observés sous climats tempérés humides sur de vieilles coulées de laves ou issus de tufs volcaniques et même en régions tempérées et tropicales de haute altitude sur des matériaux non volcaniques (loess, argilites, produits d'altération ferrallitique).

## Pédogenèse

Les Andosols résultent de deux processus d'altération biogéochimique bien différents : l'hydrolyse et la complexation par des acides organiques.

L'*hydrolyse des verres volcaniques* est favorisée par un milieu bien drainant, légèrement acide à modérément alcalin ( $\text{pH}_{\text{eau}}$  entre 5,5 et 8,5) et suffisamment chaud et humide. Ce processus produit rapidement des minéraux paracristallins (allophane, imogolite, hisingerite, ferrihydrite) sur lesquels les acides humiques sont adsorbés et stabilisés. Les SILANDOSOLS presque neutres ou modérément acides ( $\text{pH}_{\text{eau}} > 5$ ) se développent à partir de matériaux pyroclastiques récents (vieux de moins de 10 000 ans). Ils apparaissent plus souvent sous des climats tropicaux, sub-tropicaux et méditerranéens que sous des climats tempérés ou froids où ils sont principalement observés sur des cendres basiques récentes. Ces sols ont souvent des horizons de surface très riches en matières organiques et présentent une prédominance des minéraux d'altération paracristallins.

La *complexation par des acides organiques* intervient sous des conditions acides ( $\text{pH}_{\text{eau}}$  entre 3,5 et 5) et généralement sous des climats suffisamment humides et froids ( $T < 12^\circ\text{C}$ ). Les chélates (complexes humus-sesquioxides) produits sont majoritairement saturés par de l'aluminium et sont relativement immobiles. Le processus donne naissance à des ALUANDOSOLS fortement acides avec des pH (dans l'eau) inférieurs à 4,5 dans les horizons supérieurs humifères, et inférieurs à 5 dans les horizons plus profonds peu humifères mais « aluminiques » (où  $\text{Al}^{3+} > 2 \text{ cmol}^+/\text{kg}$ ). Il est favorisé par les matériaux acides (par exemple, les rhyolithes) ou par des matériaux riches en aluminium (par ex., verres volcaniques). Il peut apparaître aussi sur de vieux dépôts de tufs ou de laves et même sur des matériaux non volcaniques (argilites). A basses latitudes, le processus peut intervenir dans des résidus d'altération riches en aluminium et en fer dans les hautes terres et hautes chaînes de montagne (par ex., Andes, Rwanda, Burundi) où les conditions sont perhumides et froides ( $T < 12^\circ\text{C}$ ). La matière organique est généralement profondément répartie ; les horizons profonds non humifères sont rares et, si présents, ils sont peu différenciés.

Le concept d'horizons andiques couvre donc des horizons qui ont en commun la présence dominante de minéraux d'altération non cristallins ou paracristallins (*short-range-order*). Mais il y a cependant de nettes différences d'expression et de propriétés selon les types d'horizons andiques.

### Remarques

L'horizon A vitrique ne présentant que faiblement les propriétés andiques, à cause de son faible taux d'allophanes, les VITROSOLS ne sont pas de véritables Andosols. Ils sont traités dans ce chapitre pour des raisons didactiques. En effet, ils se développent également dans des dépôts pyroclastiques et constituent un stade « jeune » préalable à la formation d'Andosols.

Dans le cas des produits volcaniques récents, le matériau est souvent formé d'une superposition de dépôts pyroclastiques. Les limites d'horizons ne sont pas seulement dues à la pédogenèse mais peuvent être celles des dépôts.

Quand il y a de notables différences d'âge entre strates, l'ensemble du solum peut être polygénétique, les horizons supérieurs s'avérant plus jeunes et moins altérés. Dans le cas de produits volcaniques anciens, la complexité du solum est moins évidente et n'apparaît souvent qu'après une analyse approfondie des constituants minéraux.

## Caractérisation chimique des Andosols

La présence de minéraux non- ou paracrystallins dans les Andosols est caractérisée chimiquement par la méthode de Blakemore *et al.*, 1981 (oxalate acide) appliquée à la terre fine < 2 mm.  $Al_{ox}$ ,  $Fe_{ox}$  et  $Si_{ox}$  = Al, Fe et Si extractibles à l'oxalate acide. Une valeur  $Al_{ox} + 1/2 Fe_{ox}$  supérieure à 2 % indique des propriétés andiques bien exprimées. La méthode de Blakemore extrait de l'aluminium et du fer provenant de minéraux paracrystallins (allophane, imogolite, hisingerite, ferrihydrite), et/ou d'hydroxydes non cristallins et complexés par les acides organiques.

Le rapport  $Al_{py}/Al_{ox}$  est un critère pour établir si l'aluminium est de façon dominante complexé par les acides organiques ou principalement présent sous une forme paracrystalline d'aluminosilicate ou d'oxyhydroxyde.  $Al_{py}$  = aluminium extractible au pyrophosphate.

La quantité de minéraux allophaniques est déduite de la valeur de  $Si_{ox}$ . Elle peut être calculée en utilisant la formule de l'imogolite ( $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $2,5 H_2O$  - Al/Si = 2) pour les minéraux allophaniques riches en aluminium, si de l'imogolite fibreuse est présente, ou bien à partir de la formule de l'halloysite ( $2SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $2,5 H_2O$  - Al/Si = 1) pour des formes plus riches en silice, notamment l'allophane sphérique.

Les Andosols sont des solums « à charges variables », dépendantes du pH. La CEC augmente avec le pH ; c'est l'inverse pour la capacité d'échange anionique. Le taux de variation de la CEC (CEC à pH 9 - CEC à pH 4 / CEC à pH 9) est supérieur à 0,4 et peut atteindre 0,8. Ce phénomène est significatif de la composition chimique des produits allophaniques et augmente vers le pôle aluminique (imogolite).

La rétention du phosphore (Blakemore *et al.*, 1981) est normalement supérieure à 85 % (du phosphore ajouté à la solution).

Le pH dans NaF 1 M est de 9,5 ou plus en moins de 2 minutes. La valeur varie entre 9,5 et 11, dépendant de la réactivité (richesse en Al) et de la quantité des produits allophaniques, des complexes de l'aluminium et des acides organiques. Le pH NaF peut être employé comme test de terrain pour la diagnose possible des Andosols (Fieldes & Perrot, 1966).

## Caractérisation physique des Andosols

Un certain nombre de propriétés physiques sont typiques des Andosols :

- une faible densité apparente, généralement inférieure à 0,9 (échantillon non séché à l'air, amené à 33 kPa), correspondant à une grande micro-porosité (60 à 90 %) ;



- une grande capacité de rétention en eau par rapport à la teneur en particules de la taille des argiles ( $< 2 \mu\text{m}$ ) ;
- un fort taux de « déshydratation irréversible » entre l'état humide et après dessiccation prolongée à l'air. La différence d'humidité à 1 500 kPa entre échantillon non séché et échantillon séché, rapporté à l'échantillon non séché varie de 0,4 à 0,8 (sol naturel non cultivé). Il est significatif des propriétés de gel du complexe organo-minéral ;
- une bonne stabilité des micro-agrégats conservés humides et faible dispersion de la fraction colloïdale. En revanche, forte susceptibilité à l'érosion et grande friabilité après dessiccation à l'air (état poudreux, faible densité et flottabilité des agrégats) ;
- la structure micro-agrégée des Andosols est responsable de la faible densité apparente. Les micro-agrégats sont des complexes organo-minéraux de forme ovoïde de 1 à 10  $\mu\text{m}$  de diamètre, composés de polyagrégats friables et très poreux. La porosité macroscopique est fortement développée dans les horizons de surface tandis qu'il y a seulement une faible macroporosité dans les horizons plus profonds ;
- quelques horizons noirs et très riches en humus peuvent montrer un toucher onctueux en conditions humides. Ceci ne doit pas être confondu avec la thixotropie qui correspond à un subit changement du matériau pédologique d'un état semi-rigide à un état fluide quand une pression est appliquée, et qui est caractéristique d'un état de gel en conditions humides. La thixotropie est exceptionnelle et seulement observée chez certains Andosols sous climat per-humide.

## Les horizons de référence

Les VITROSOLS sont caractérisés par l'existence d'un horizon dominé par les verres volcaniques et autres minéraux primaires et contenant peu d'allopène : l'**horizon A vitrique**.

Les Andosols sont caractérisés par l'existence d'au moins un des horizons de références suivants :

- un (ou plusieurs) horizon (s) constitué (s) principalement d'allophanes et minéraux similaires : **horizons silandiques** ;
- un (ou plusieurs) horizon (s) dans lequel (lesquels) les complexes organo-sesquioxidiés prévalent : **horizons aluandiques**.

### Horizon A vitrique (Avi)

Il est constitué d'un matériau pyroclastique encore riche en verres volcaniques et autres minéraux primaires non altérés (plus de 60 % des fractions sables et limons). C'est un horizon de surface mais qui peut être enfoui sous plusieurs décimètres de produits pyroclastiques récents. Il contient moins de 10 % d'argile et plus de 0,6 % de carbone organique. Ses caractéristiques physiques et chimiques sont :

- une densité apparente comprise entre 0,9 et 1,2 ;

- une capacité de rétention de l'eau à 1500 KPa inférieure à 25 % ;
- valeur  $Al_{ox} + 1/2 Fe_{ox}$  comprise entre 0,4 et 2 % ;
- rétention du phosphore inférieure à 85 %.

### Horizons silandiques (And et Snd)

Ils sont caractérisés par la prédominance des minéraux secondaires para-ou cryptocristallins tels que allophane, imogolite et hisingerite. Seule une petite quantité d'aluminium est complexée par les acides organiques par rapport à l'aluminium des minéraux allophaniques. Le  $pH_{eau}$  est acide, peu acide, voire neutre ou basique. La densité apparente est basse, généralement inférieure à 0,9. La valeur  $Al_{ox} + 1/2 Fe_{ox}$  est supérieure à 2 %.  $Si_{ox}$  est supérieur à 0,6 % et le rapport  $Al_{py}/Al_{ox}$  est inférieur à 0,5. L'aluminium échangeable est inférieur à 2  $cmol^+/kg$  en valeur absolue ou  $Al^{+++}/CEC < 20$  %.

- Horizon And - teneur en carbone organique généralement > ou égale à 3 % ;  
 - couleur sombre ou noire (*chroma* et *value* inférieurs ou égaux à 3 à l'état humide ;  
 -  $pH_{eau}$  supérieur à 4,5 ;  
 - structure microgrumeleuse (« *fluffy* ») ;
- Horizon Snd - teneur encore notable en matières organiques bien humifiées (carbone organique > 0,6 %) ne se marquant pas dans la couleur ;  
 -  $pH_{eau}$  supérieur à 5,0 ;  
 - structure continue, grenue ou polyédrique fine.

### Horizons aluandiques (Alu et Slu)

Dans ces horizons, l'aluminium complexé par des acides organiques domine sur l'aluminium des minéraux allophaniques. Le  $pH_{eau}$  est acide à très acide. La densité apparente est inférieure à 0,9. La valeur  $Al_{ox} + 1/2 Fe_{ox}$  est supérieure à 2 %, mais la valeur de  $Si_{ox}$  est inférieure à 0,6 %. Le rapport  $Al_{py}/Al_{ox}$  est supérieur à 0,5. L'aluminium échangeable est supérieur à 2  $cmol^+/kg$  ou  $Al^{+++}/CEC > 20$  %.

- Horizon Alu - couleur généralement noire (*chroma* et *value* inférieurs à 2) ;  
 - teneur en carbone organique > ou égale à 3 % ;  
 -  $pH_{eau}$  inférieur à 4,5 ;  
 - structure microgrumeleuse (« *fluffy* ») ;  
 - souvent toucher onctueux.
- Horizon Slu -  $pH_{eau}$  inférieur à 5,0

### Autres horizons de référence possibles :

- horizons hologaniques O ou H
- horizons ferrique FEm ou placique FEmp
- horizons G ou -g en profondeur
- horizons calcariques K, siliciques Si ou pétro-siliciques Sim, -x « fragipan ».

### Horizons de référence interdits :

- horizons E, horizons BP, horizon Sal.

## 8 Références

### Définitions

**Caractère perhydrique** : qualifie un solum qui présente, au moins dans les horizons non labourés, des propriétés de thixotropie, une rétention en eau de plus de 100 % en poids (terre fine préalablement non séchée à l'air, amenée à 1 500 kPa) et un taux de déshydratation irréversible de plus de 70 %.

**Caractère eutrique** : taux de saturation supérieur ou égal à 50 % (S et T déterminés après percolation à l'acétate d'ammonium tamponné à pH 7) ou somme des cations échangeables alcalins et alcalino-terreux > 15 cmol<sup>+</sup>/kg.

**Caractère dystrique** : taux de saturation inférieur à 50 % (S et T déterminés après percolation à l'acétate d'ammonium tamponné à pH 7) ou somme des cations échangeables alcalins et alcalino-terreux < 15 cmol<sup>+</sup>/kg.

*si horizon vitrique*<sup>1</sup> —> VITROSOLS

*si horizons silandiques*<sup>1</sup>

- si caractère perhydrique —> SILANDOSOLS PERHYDRIQUES
- si carbone > 6 % et couleur noire sur plus de 50 cm d'épaisseur —> SILANDOSOLS HUMIQUES
- sinon et caractère eutrique dans les 50 premiers cm —> SILANDOSOLS EUTRIQUES
- sinon et caractère dystrique dans les 50 premiers cm —> SILANDOSOLS DYSTRIQUES

*si horizons aluandiques*<sup>1</sup>

- si caractère perhydrique —> ALUANDOSOLS PERHYDRIQUES
- si carbone > 6 % et couleur noire sur plus de 50 cm d'épaisseur —> ALUANDOSOLS HUMIQUES
- sinon —> ALUANDOSOLS HAPLIQUES

Des Qualificatifs permettent d'indiquer la présence d'autres horizons de référence enterrés (horizon BT, gypseux, histique, « duripan », fragipan, etc.) ou bien d'importantes propriétés secondaires (dystrique, eutrique, réductique, rédoxique, leptique, pachique, placique, etc.).

### Propriétés agronomiques des ANDOSOLS et VITROSOLS

Les VITROSOLS présentent des propriétés de sables volcaniques humifères, très riches en verres et minéraux altérables. Ils sont souvent riches en cations échangeables et en phosphore assimilable. Leurs facteurs limitants sont d'ordre physique : profondeur restreinte, forte macro-porosité, fort drainage et faible rétention d'eau. En conséquence, il y a un risque de lixiviation rapide de certains éléments, dont l'azote minéral, parfois en potassium échangeable et en phosphore assimilable.

1. Horizon ou horizons épais d'au moins 30 cm apparaissant dans les 50 premiers centimètres du solum.

Les SILANDOSOLS EUTRIQUES ont des caractères de sols eutrophes. Ils sont constitués d'un allophane modérément alumineux et ferrifère et ils ont des propriétés modérées de gels. Ils sont suffisamment évolués et peu acides pour avoir une CEC élevée et une rétention modérée du phosphore. Ils présentent aussi une rétention en eau suffisante et un ressuyage rapide. Une macroporosité accessible à l'air permet un enracinement dense et profond. Ces sols très fertiles supportent un usage agricole intensif. Ils ne connaissent pas de problème grave de fertilisation en phosphore. Cependant, ils sont très sensibles à l'érosion. Sous climat à longue saison sèche, un déficit hydrique saisonnier peut intervenir.

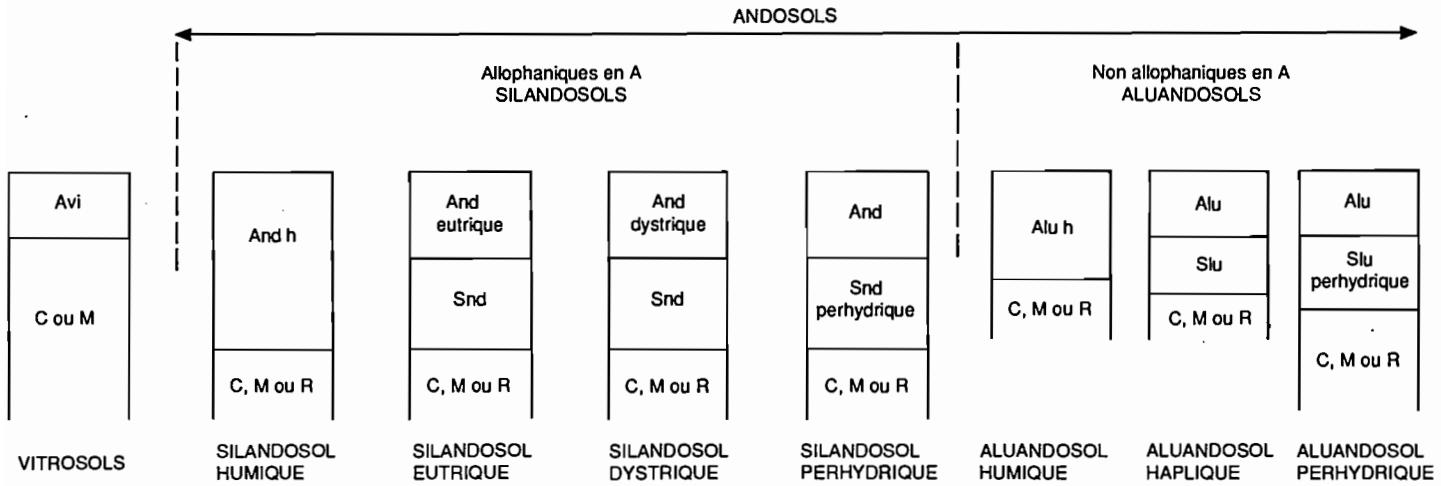
Les SILANDOSOLS DYSTRINIQUES ont des caractères de sols mésotrophes. Ils ont d'excellentes propriétés physiques (rétention d'eau et drainage interne), une richesse souvent suffisante en cations échangeables mais des déséquilibres minéraux sont possibles (déficience en K). Ils présentent presque toujours une déficience en phosphore et azote facilement utilisables, ce qui pose un problème de fertilisation, assez difficile à résoudre économiquement.

Les SILANDOSOLS PERHYDRINIQUES marquent le stade extrême où l'allophane est le plus alumineux, d'où une CEC à charge très variable, une rétention du phosphore très énergique et une forte déshydratation irréversible. Quoique modérément acide et contenant des minéraux altérables, le rapport S/T (T déterminé à pH 7) est très faible (< 10 %). La disponibilité de l'azote, du phosphore et du soufre est restreinte en dépit d'une bonne quantité de ces éléments dans les abondantes matières organiques. Ces sols constituent un milieu oligotrophe pour la croissance des plantes. En outre, l'humidité excessive du climat général et du pédoclimat, associée à une certaine anoxie dans les horizons Snd, sont de sévères contraintes pour une mise en culture intensive. Après labour profond et dessiccation à l'air, ces sols deviennent sensibles à l'érosion.

Les ALUANDOSOLS se distinguent par leur acidité, par leur richesse en aluminium complexé par des acides organiques et par l'abondance de l'aluminium échangeable. Ils ont des teneurs en cations échangeables alcalins et alcalino-terreux très faibles et un rapport S/T très bas. Les solums les plus anciens ne contiennent presque plus de minéraux altérables. Le phosphore est fortement retenu, à la fois dans les matières organiques stables et par les complexes organo-aluminiques. De plus, les horizons Slu forment un obstacle chimique au développement racinaire et il y a, dans le cas des ALUANDOSOLS PERHYDRINIQUES, une certaine anoxie. Enfin, le climat où existent ces sols est souvent trop froid ou trop humide pour obtenir de bonnes récoltes. La fertilité de ces sols oligotrophes est donc restreinte et de très sérieux problèmes de fertilisation se posent.

## Relations avec d'autres GER

Avec les RÉGOSOLS : sur matériau pyroclastique très récent et encore très peu altéré (valeur  $Al_{ox} + 1/2 Fe_{ox}$  inférieure à 0,4 %), sans encore formation d'un véritable horizon A vitrique : RÉGOSOL pyroclastique.



Avec les PODZOSOLS : il y a de très grandes ressemblances aux plans chimique et micro-structural entre les ALUANDOSOLS et certains PODZOSOLS ne présentant pas d'horizons E :

- valeur  $Al_{ox} + 1/2 Fe_{ox}$  supérieure à 2 % dans la terre fine ;
- structure micro-grumeleuse ;
- abondance des oxyhydroxydes de fer paracrystallins ;
- pH très acides ;
- dominance du processus d'acido-complexolyse.

En cas de doute, deux éléments peuvent permettre de trancher en faveur d'un ALUANDOSOL : d'une part, la nature du matériau originel pyroclastique ou volcanique et, d'autre part, la décroissance progressive de la teneur en carbone avec la profondeur.

On pourrait aussi rechercher un réactif qui soit plus discriminant vis-à-vis des chélates d'aluminium et de fer, surtout de Fe qui semble dominer dans les complexes les plus mobiles lesquels caractérisent les PODZOSOLS. Pour les ALUANDOSOLS, le rapport  $Al_{te} + Fe_{te} / Al_{ox} + Fe_{ox}$  pourrait être employé, dans lequel  $Al_{te}$  et  $Fe_{te}$  représentent Al et Fe extractibles au tétraborate de sodium (Jeanroy, 1983). Des valeurs de 0,5 ou supérieures seraient caractéristiques des horizons BP des PODZOSOLS.

## Équivalences avec le WRB 1st draft, 1994

VITROSOLS	Andosols vitriques
SILANDOSOLS PERHYDRIQUES	Andosols hydriques
SILANDOSOLS HUMIQUES	Andosols pachiques
SILANDOSOLS EUTRIQUES	Andosols eutriques
SILANDOSOLS DYSTRIQUES	Andosols siliques
ALUANDOSOLS PERHYDRIQUES	Andosols hyaliques
ALUANDOSOLS HUMIQUES	Andosols pachaliques
ALUANDOSOLS HAPLIQUES	Andosols aliques



# ANTHROPOSOLS

D. Baize et J.P. Rossignol

## Justification

Des catégories sont nécessaires pour les « sols » (au sens large) entièrement fabriqués par l'Homme (apports de matériaux artificiels ou terre transportée) et pour ceux d'origine naturelle mais qui ont été tellement transformés par des processus « anthropo-pédogénétiques » que le solum originel n'est plus reconnaissable ou bien est désormais « enterré ».

Les principaux processus « anthropo-pédogénétiques » sont, notamment :

- le travail profond ou défoncement : interventions mécaniques répétées, descendant jusqu'à au moins 40 cm ou beaucoup plus, donc bien au-dessous de la profondeur des labours habituels, et pouvant affecter la roche sous-jacente ;

- la sur-fertilisation par applications répétées de fertilisants organiques sans addition notable de matières minérales (lisiers, fumiers, ordures ménagères, composts, etc.) (jardins, parcs, zones maraîchères) ;

- la destruction d'une horizonation antérieure par mélange d'horizons et nivellements ;

- l'addition répétée de matériaux allochtones terreux ou inertes, impliquant l'apport de quantités notables de matières minérales (mottes de gazon, sables de plage, fumiers terreux, curages de fossés, etc.) ;

- l'irrigation répétée avec des eaux contenant des quantités non négligeables de sédiments en suspension (pouvant contenir aussi des fertilisants, des sels solubles, de la matière organique, des polluants, etc.) ;

- la création de terrasses remodelant complètement le profil des versants et ayant donc affecté gravement les couvertures pédologiques naturelles.

En milieu urbain ou péri-urbain, viennent souvent s'ajouter, par exemple :

- la troncature de la partie supérieure du solum,
- le compactage par le trafic ou pour préparer la construction de bâtiments,
- la « fermeture » de la surface par des revêtements de chaussées (goudrons, ciments, pavés),



- l'alcalisation par contamination par des épandages et ordures,
- la pollution par des métaux et des acides résultant de diverses combustions, des gaz d'échappement et des industries.

## **ANTHROPOSOLS TRANSFORMÉS**

Le solum naturel initial est tellement transformé par des activités humaines intenses et/ou de longue durée qu'il n'est plus reconnaissable ou bien a acquis de nouvelles morphologies et propriétés qui ne permettent plus son rattachement satisfaisant à d'autres Références.

Il s'agit donc d'un concept très restrictif. Peu de sols agricoles pourront être rattachés aux ANTHROPOSOLS. Le plus souvent on pourra se rattacher à une Référence de non-anthroposols et employer un ou plusieurs Qualificatifs utiles (cf. ci-dessous). Dans les cas intermédiaires, un rattachement double est toujours possible (exemples : CALCOSOL-ANTHROPOSOL ou ANTHROPOSOL-BRUNISOL).

## **ANTHROPOSOLS ARTIFICIELS**

Leur existence résulte **entièrement** d'une activité humaine, parce que l'Homme est responsable de la mise en place d'un matériau non pédologique (déblais de mines ou de carrières, déchets domestiques, boues résiduaires, scories, gravats, décombres, etc.). Pour être rattaché aux ANTHROPOSOLS ARTIFICIELS un solum devra être constitué, à sa partie supérieure et sur une épaisseur d'au moins 50 cm, par de tels apports. D'éventuels horizons naturels sous-jacents seront alors considérés comme « enterrés » (notation internationale -b).

## **ANTHROPOSOLS RECONSTITUÉS**

L'existence des ANTHROPOSOLS RECONSTITUÉS résulte de l'activité humaine en milieu urbain et péri-urbain, par l'utilisation de matériaux pédologiques transportés, remaniés puis mis en place dans les jardins, parcs et espaces verts pour les plantations de végétaux d'ornement (« terre végétale » des paysagistes).

Ce sont souvent des horizons L, mélangés parfois à la partie supérieure de l'horizon sous-jacent. Ces matériaux proviennent des terrassements, des aménagements routiers ou autoroutiers, des sites industriels ou artisanaux, dans lesquels les matériaux terreux ont été prélevés par décapage puis conservés plus ou moins longtemps. Ces matériaux peuvent provenir également des couches arables de terrains agricoles. Ils peuvent être amendés et mélangés à d'autres constituants (tourbes) avant d'être mis en place.

Pour être rattaché aux ANTHROPOSOLS RECONSTITUÉS un solum devra être constitué, à sa partie supérieure et sur une épaisseur d'au moins 50 cm, par de la terre transportée. Lorsque l'origine pédologique est connue, utiliser le qualificatif « provenant de ».

**Remarques sur les conditions de mise en place et la gestion des ANTHROPOSOLS RECONSTITUÉS :**

- les matériaux à l'origine des ANTHROPOSOLS RECONSTITUÉS sont soumis à de fortes contraintes depuis leur extraction sur la parcelle agricole jusqu'à leur installation sur un site urbain ou péri-urbain. Les différentes opérations qui se succèdent sont : le ramassage de la terre, sa mise en tas, son stockage pendant un temps plus ou moins long, son transport et enfin sa mise en place à l'endroit choisi. Chacune de ces opérations peut être l'occasion d'une certaine dégradation des propriétés physiques du matériau terreux. Le taux d'humidité du matériau au moment où sont effectuées ces opérations conditionne la morphologie et le fonctionnement futurs de l'ANTHROPOSOL. Les humidités caractéristiques telles que les points d'entrée en plasticité et en liquidité sont des seuils de domaines de comportement des matériaux transportés, ceux-ci risquant de présenter dès leur mise en place des tassements ou compactages irréversibles, néfastes à la colonisation racinaire et au développement ultérieurs des végétaux ;

- la connaissance des caractéristiques physiques, mécaniques et hydriques des matériaux pédologiques utilisés permet de prévoir les conditions optimales pour la construction des ANTHROPOSOLS RECONSTITUÉS ;

- lors de leur mise en place, des tuyaux verticaux perforés sont souvent installés pour permettre une irrigation en profondeur et/ou une aération des couches profondes. Dans certains cas, un drainage est prévu lorsque la « couche de fond de forme » est imperméable.

## Qualificatifs relatifs à l'anthropisation

<b>hortique</b>	fertilisation intense et ancienne (jardins, maraîchage).
<b>défoncé</b>	solum ayant subi un ou plusieurs défoncements.
<b>fimique</b>	qualifie un solum dont l'horizon de surface est devenu très humifère par suite d'épandages répétés de fumiers ou lisiers. Un horizon L fimique est très épais (plus de 30 cm) et contient généralement des débris de briques ou de poteries sur toute son épaisseur. Sa teneur en éléments nutritifs est très élevée, notamment en $P_2O_5$ (plus de 250 mg/kg, extraction à l'acide citrique).
<b>plaggique</b>	qualifie un solum rendu très humifère et sur-épaissi par additions répétées de plaques de gazon ou de « terre de bruyère » (Plaggenboden).
<b>irragrique</b>	irrigations répétées avec des eaux riches en sédiments.
<b>urbain</b>	situé dans une zone urbaine et ayant subi au moins une des modifications « anthropo-pédogénétiques » de ce type de milieu.

- décapé** ANTHROPOSOL TRANSFORMÉ dont on sait que les horizons supérieurs ont été enlevés par une intervention humaine.
- nivelé** dont la surface a été nivelée par l'Homme.
- mélangé** dont l'horizonation naturelle a été complètement détruite par l'activité humaine et mélange d'horizons.
- compacté** compactage par le trafic ou pour préparer la construction de bâtiments.
- contaminé** enrichi notablement en éléments xéno-biotiques (éléments traces, hydrocarbures, molécules organiques de synthèse, etc.), par suite d'actions humaines volontaires ou non.
- scellé** « fermeture » de la surface par un revêtement de chaussée.
- leptique** qualifie un ANTHROPOSOL ARTIFICIEL ou RECONSTITUÉ dont l'épaisseur est inférieure à 50 cm au-dessus d'une couche dure naturelle (horizon R) ou artificielle (béton, pierre, brique, etc.).
- rudérique** qualifie un ANTHROPOSOL ARTIFICIEL constitué par des décombres (produits de démolition de maisons, routes, etc.).
- rizicultivé** les fonctionnements hydrique, physico-chimique et biologique du solum sont complètement modifiés par l'inondation des champs une ou deux fois par an, pendant des siècles, pour la production du riz.

**de terrasses / de terrassettes / de banquettes**

le long d'un versant, les cultures sont disposées en gradins sub-horizontaux, séparés par des murets verticaux ou des talus. Ce remodelage des versants par l'Homme est destiné à lutter contre l'érosion et à faciliter les interventions culturales. Dans un tel contexte, les solums sont plus ou moins artificialisés.

Tous les Qualificatifs ci-dessous peuvent être aussi utilisés pour des solums qui ne sont pas suffisamment modifiés par les activités humaines pour être rattachés aux ANTHROPOSOLS :

- hortique, défoncé, tronqué, irrigrique, nivelé, compacté, contaminé, urbain, etc.
- ainsi que : cultivé, irrigué, resaturé, fertilisé, drainé, assaini, amendé, sablé, etc.

**Exemples de types**

- |                         |  |
|-------------------------|--|
| ANTHROPOSOL TRANSFORMÉ  | fimique, sableux, à horizons profonds argileux   |
| ANTHROPOSOL ARTIFICIEL  | limono-caillouteux, de terril d'ardoisière   |
| ANTHROPOSOL ARTIFICIEL  | rudérique, urbain, compacté  |
| ANTHROPOSOL RECONSTITUÉ | leptique, limoneux, sur dalle de béton, provenant d'horizons LA de LUVISOL TYPIQUE issu de loess |
| ANTHROPOSOL TRANSFORMÉ  | urbain, tronqué, scellé, contaminé   |
| ANTHROPOSOL-CALCOSOL    | argilo-caillouteux, de terrassettes  |

# ARÉNOSOLS

D. Baize

## Généralités - Pédogenèse

Il s'agit de sols très sableux sur une épaisseur d'au moins 120 cm. La très forte proportion de sables leur confère des propriétés et des comportements particuliers, c'est la raison pour laquelle cette Référence a été distinguée. En outre, les ARÉNOSOLS ne sont pas affectés (ou peu) par des excès d'eau.

Deux cas sont cependant à envisager :

- sols développés à partir de roches-mères sableuses mais qui n'ont pas atteint la morphologie caractéristique de processus pédologiques aboutis tels que l'illuviation d'argile et la podzolisation ;
- peuvent être rattachés aux ARÉNOSOLS des horizons supérieurs de sols très différenciés dont on juge les horizons de référence (tels que BT, BP, S) situés trop profondément et non fonctionnels.

## Critères de diagnostic

Tous les sols sableux ne sont pas des ARÉNOSOLS. Pour pouvoir être rattaché aux ARÉNOSOLS, un solum doit présenter les 3 caractères suivants, sur une épaisseur d'au moins 120 cm :

- granulométrie : plus de 65 % de sables totaux (en poids dans la terre fine) et moins de 12,5 % d'argile (cette valeur est la limite supérieure de la classe sableuse du diagramme de texture du GEPPA). Moins de 60 % de cailloux + pierres, en poids par rapport à la terre totale (sinon rattacher aux PEYROSOLS) ;
- structure particulière sur toute l'épaisseur du solum (sauf dans un éventuel horizon A) ; elle peut être massive non cimentée et friable en C ou M ;
- absence d'horizons BT, BP, S, FS, G, etc., typiques.

En outre, il n'y a pas d'engorgement prolongé au cours de l'année, et pas de signes nets d'hydromorphie à moins de 80 cm. Attention cependant, ne pas seulement se fier aux signes d'hydromorphie qui ne se marquent pas dans des sables très pauvres en fer, et bien tenir compte du fonctionnement hydrique réel.

## Propriétés - Fonctionnement

- faible capacité de rétention et faible réserve en eau d'où une grande sensibilité à la sécheresse ;
- capacité d'échange très faible, d'où une fertilité faible ;
- drainage naturel vertical très rapide, capacité élevée à l'utilisation d'eaux d'irrigation salées ;
- horizon de surface facile à travailler, inapte à la fissuration, sans risque d'asphyxie.

## Horizons de référence

En surface, des horizons O et / ou A sont possibles.

En profondeur, à moins de 120 cm, on peut atteindre un horizon C sableux ou un matériau M sableux.

À profondeur moyenne, il existe des horizons sableux qui présentent une couleur différente de celle du C ou du M, qui contiennent de la matière organique en quantité non négligeable et où les plantes s'enracinent. Ces horizons présentent en outre un net décompactage par rapport à leur roche-mère (dans le cas des roches sédimentaires sableuses). Il ne s'agit pas d'un véritable horizon S mais d'un horizon Jp sableux.

## Qualificatifs utiles pour les ARÉNOSOLS

à oligomull, à moder, à mor, etc.

calcaire, dolomiteux, dolomitique, calcique.

peu acide, acide, très acide, etc.

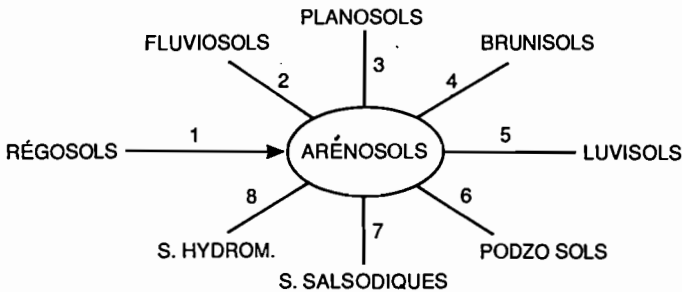
<b>resaturé</b>	saturé ou subsaturé sous culture, dans un contexte où les mêmes sols sont acides ou très acides sous forêt.
<b>luvique</b>	quelques traits d'illuviation d'argile à moins de 120 cm mais insuffisants pour constituer un véritable BT.
<b>podzolisé</b>	des caractères podzoliques sont décelables mais insuffisants cependant pour que le solum soit reconnu comme PODZOSOL.

<b>rouillé</b>	présentant un horizon de couleur rouille sous l'horizon de surface, mais ne présentant pas les caractères d'un véritable PODZOSOL.
<b>albique</b>	caractère blanchi et lavé bien marqué.
<b>à horizon rédoxique de profondeur salsodique</b>	horizon -g apparaissant entre 80 et 120 cm. solum sous l'influence du sodium mais dont la texture sableuse ne permet pas de confectionner une pâte saturée.
<b>ferro-nodulaire ou ferro-graveleux</b>	grande abondance de nodules ou graviers ferrugineux (en domaines ferrallitiques ou ferrugineux tropicaux).
<b>ferrugineux dunaire, de dune, d'erg, etc.</b>	nettement coloré suite à une relative richesse en fer.
Qualificatifs impliquant un rattachement imparfait (1 caractère de la définition générale fait défaut) :	
<b>rédoxique</b>	horizon -g apparaissant entre 50 et 80 cm ;
<b>leptique</b>	une couche M ou D non sableuse ou une couche R apparaît à moins de 120 cm mais à plus de 50 cm ;
<b>lithique</b>	une couche R apparaît à moins de 50 cm de profondeur (mais à plus de 10 cm).

### Relations avec d'autres GER

L'existence d'une texture très sableuse ne suffit pas pour entraîner automatiquement le rattachement aux ARÉNOSOLS.

1. On peut hésiter entre le rattachement aux ARÉNOSOLS et aux RÉGOSOLS sableux, notamment dans le cas de dunes littorales ou continentales (ergs). On optera plutôt pour la Référence ARÉNOSOL lorsqu'on observe dans le solum de la matière organique en quantité non négligeable, un bon enraci-



nement des plantes, un décompactage et une réorganisation des particules sableuses par rapport à une roche-mère sous-jacente.

2. Un ARÉNOSOL présente un solum peu différent de certains FLUVIOSOLS TYPIQUES ou FLUVIOSOLS BRUTS sableux. Le rattachement aux ARÉNOSOLS indique que le solum étudié n'est pas situé en position de vallée ni développé dans des alluvions fluviales récentes.

3. On peut rattacher aux ARÉNOSOLS la partie supérieure d'un solum planosolique mais dont les horizons E sont très épais et pour lequel aucun excès d'eau n'affecte les 80 premiers centimètres.

4. A la différence d'un BRUNISOL, un ARÉNOSOL ne présente pas d'horizon S typique (bien structuré et aéré).

5. Un ARÉNOSOL se distingue d'un LUVISOL car il ne présente pas d'horizon BT typique dans les 120 premiers centimètres et l'existence d'un BT plus profond n'est pas connue.

6. Certains solums pouvant faire penser à des horizons E très épais de PODZOSOLS seront rattachés aux ARÉNOSOLS car, dans les conditions spécifiques de l'étude en cours, il n'a pas été observé de BP en profondeur. Si, en revanche, on reconnaît l'existence d'un BP typique à grande profondeur, et que les horizons sableux supérieurs sont considérés comme les horizons E correspondants, on peut rattacher le solum à une Référence de PODZOSOL pachique.

7. Un ARÉNOSOL salsodique n'est pas un SALISOL ni un SODISOL même s'il est sous l'influence de sels solubles ou de l'ion  $\text{Na}^+$ , car on ne peut confectionner de « pâte saturée » suite à une texture trop grossière.

8. Un ARÉNOSOL ne présente pas d'horizon G, ce n'est donc pas un RÉDUCTISOL. Comme aucun excès d'eau prolongé n'affecte les 80 premiers centimètres, ce n'est pas non plus un RÉDOXISOL.

9. Un ARÉNOSOL calcaire se distingue d'un CALCOSOL par l'absence d'un horizon Sca à structure polyédrique généralisée.

# BRUNISOLS

D. Baize

## Concept central

Les BRUNISOLS sont caractérisés par la présence d'un horizon structural (horizon S) très bien développé (à structure pédique très nette) et possédant une notable macro-porosité fissurale et biologique. En outre, cet horizon S n'est jamais calcaire : il diffère en cela des horizons Sca. Il ne présente pas le comportement pélosolique de l'horizon Sp. Son  $\text{pH}_{\text{eau}}$  est presque toujours compris entre 5,0 et 6,5 sous forêt et, en général, il n'excède pas 7,6 sous cultures. Le taux de saturation est variable, en fonction de la roche-mère, de la végétation ou de l'histoire du site (cultures, prairies, friche, etc.). Il n'y a pas, ou peu, d'aluminium échangeable (à la différence de l'horizon Sal « aluminique »).

Sous forêt, en règle générale, l'épisolum humifère est un eumull ou un mésomull (plus rarement un oligomull) dont l'horizon A est très typique car il présente une structure construite d'origine biologique (horizon A bioma-crostructuré). L'activité biologique favorise la constitution de complexes argiles-humus-fer stables.

Les BRUNISOLS ne présentent pas d'horizons E ni BT. Cela ne veut pas dire qu'ils ne connaissent aucun mouvement d'argile, mais que la morphologie macroscopique du solum ne montre pas de différenciation texturale notable.

Ce sont donc des sols « brunifiés » non argilluviés (ancien groupe des « sols bruns » de la CPCS). Leur pédogenèse est marquée par des altérations modérées et par une faible néogenèse d'argiles.

## Écologie

On observe les BRUNISOLS surtout sous les climats tempérés, atlantiques ou semi-continentaux, quand la pédogenèse est encore récente (sols « jeunes »



ou rajeunis) ou bien, pour des sols plus anciens, chaque fois que l'illuviation est ralentie par un facteur écologique : faible perméabilité de la roche-mère, par exemple. Il arrive aussi que l'altération des minéraux primaires libérant une quantité d'argile plus élevée en surface qu'en profondeur, une certaine illuviation d'argile soit compensée et masquée.

Les roches-mères peuvent être des argilites, des alluvions anciennes, des résidus d'altération de calcaires durs, des dépôts morainiques, des schistes, des grès, des roches magmatiques basiques (diorites, gabbros, basaltes).

## Solum diagnostique

sous forêts :        A/S/C ou M ou R  
 sous cultures :    LA ou LS/S/C ou M ou R

L'horizon A est biomacrostructuré. Sont interdits les horizons Ach, Aca, And, Alu, Avi, An, Sca, Sal, Snd, Slu, Sp, BP, BT, FS, E, H, V.

## 4 Références

Elles sont distinguées en fonction du rapport S/T dans l'horizon S (T étant déterminé à pH 7) :

BRUNISOLS SATURÉS	taux de saturation compris entre 80 et 100 %
BRUNISOLS MÉSOSATURÉS	taux de saturation compris entre 50 et 80 %
BRUNISOLS OLIGO-SATURÉS	taux de saturation compris entre 20 et 50 %
BRUNISOLS RESATURÉS	complexe resaturé (S/T > 80 %) par la mise en culture ; pH supérieur à 6,0.

## Qualificatifs utiles

- luvique**    le solum présente certains traits d'illuviation d'argile mais le processus d'illuviation n'est pas jugé suffisamment net pour qu'un horizon soit considéré comme un horizon BT.
- colluvial**    solum développé à partir de matériaux colluviaux. Certains BRUNISOLS colluviaux présentent une structuration particulièrement favorable et sont, de ce fait, plus fertiles que les sols environnants non colluviaux (Vosges).
- vertique**    (= à caractères vertiques) ces caractères sont nets mais insuffisants (pas assez généralisés ou seulement visibles en profondeur) pour rattacher le solum aux VERTISOLS.
- andique**    qui présente des caractères andiques atténués ou seulement sur une petite partie du solum, dans l'horizon S.

- humifère** grande abondance de matières organiques dans l'horizon A et, éventuellement, la partie supérieure de l'horizon S.
- fluviq** solum développé dans des matériaux alluviaux récents mais beaucoup plus différencié qu'un FLUVIOSOL (moyennes ou basses terrasses alluviales, non inondables, à nappe phréatique profonde). Si le solum est développé dans des alluvions fluviales récentes, en position de vallée inondable, la priorité sera donnée au caractère fluviq et le solum sera plutôt rattaché à la Référence des FLUVIOSOLS BRUNIFIÉS.
- pachiq** épaisseur totale des horizons A + S supérieure à 80 cm.
- leptiq** épaisseur totale des horizons A + S inférieure à 40 cm.

Lorsque des horizons g ou G débutent à plus de 50 cm de profondeur, on utilisera les Qualificatifs « rédoxique », « réductique », « à horizon rédoxique de profondeur » ou « à horizon réductique de profondeur ».

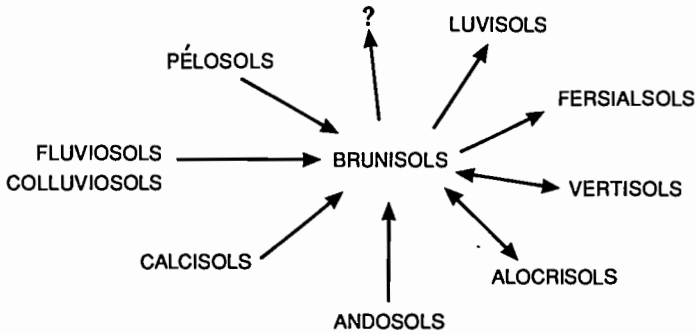
La nature de l'épisolum humifère peut varier localement en fonction de la nature de la litière, du pédoclimat, de l'exposition, etc. et ne pas forcément être en accord avec le taux de saturation de l'horizon S. On pourra donc utiliser des Qualificatifs tels que : « à eumull mésosaturé », « à eumull désaturé », « à mésomull oligo-saturé », « à oligomull », « à dysmull », etc.

## Exemples de types

- BRUNISOL OLIGO-SATURÉ humifère, mésosaturé en surface, cultivé, de schistes ardoisiers (Région de Chateaulin)
- BRUNISOL MÉSOSATURÉ colluvial, pachiq, humifère, à eumull, sablo-limoneux, de gneiss, sous sapinière-hêtraie (Hautes Vosges)
- BRUNISOL OLIGO-SATURÉ humifère, sous prairie, sablo-argileux, de grès permien (Basses Vosges)
- BRUNISOL RESATURÉ cultivé, d'andésite (Morvan)
- BRUNISOL MÉSOSATURÉ luviq, argilo-limoneux, d'alluvions anciennes
- BRUNISOL SATURÉ leptiq, argileux, à eumull mésosaturé, sur calcaire dur (Bourgogne)
- BRUNISOL SATURÉ pachiq, vertiq, argileux, cultivé, de glauconite albo-cénomaniennne (Perche)
- BRUNISOL MÉSOSATURÉ humifère, andiq, à blocs isolés, sous prairie, de basalte (Plateau des Coirons)

## Relations avec d'autres GER - Rattachements doubles

Les BRUNISOLS occupent une situation de « plaque tournante » dans l'évolution des sols tempérés, entre les « sols peu évolués » et « calcimagnésiques » d'une part et des types plus différenciés d'autre part.



Cas où des excès d'eau sont proches de la surface :

- présence d'un horizon G à moins de 50 cm : rattachement double = BRUNISOLS-RÉDUCTISOLS ou rattachement simple aux RÉDUCTISOLS ;
- présence d'un horizon -g à moins de 50 cm : rattachement double = BRUNISOLS-RÉDOXISOLS ou rattachement simple aux RÉDOXISOLS.

## Clé de distinction des BRUNISOLS

Ce sont des sols relativement différenciés (couleur, structuration) (horizons A et S typiques), ce qui les distingue de tous les sols peu ou non évolués tels que LITHOSOLS, RÉGOSOLS, FLUVIOSOLS...

Ils n'évoluent pas sous l'influence dominante du calcaire, on ne peut donc les rattacher ni aux RENDOSOLS ni aux CALCOSOLS.

Si le solum est A/Sci, deux cas peuvent être envisagés. S'il existe un stock de calcium ou de magnésium en amont, dans la roche-mère sous-jacente ou dans des éléments grossiers, le solum sera rattaché de préférence aux CALCISOLS. Si un tel « réservoir » de calcium n'existe pas, le solum sera rattaché plutôt aux BRUNISOLS SATURÉS ou RESATURÉS.

Ils ne se développent pas sous l'influence dominante d'un engorgement temporaire ou permanent, ce qui les distingue des HISTOSOLS, RÉDOXISOLS et RÉDUCTISOLS.

Ils ne contiennent ni sels solubles ni sulfates, le sodium échangeable n'y est pas abondant, ce qui les distingue des SALISOLS, SODISOLS, GYPSOSOLS, THIOSOLS, SULFATOSOLS...

Ils n'ont pas les propriétés pélosoliques des PÉLOSOLS ni les propriétés andiques des ANDOSOLS, ni les horizons FS des FERSIALSOLS, ni le comportement particulier des VERTISOLS.

Ils ne présentent pas les processus typiques d'argilluviation ni de podzolisation (absence des horizons E, BT et BP) ; ce ne sont donc ni des LUVISOLS ni des PODZOSOLS.

Ils sont caractérisés par l'existence d'un S typique, ce qui élimine les ARÉNOSOLS.

Ils ne présentent pas d'horizons E, ni de forte différenciation texturale, ni de « plancher » imperméable, ce qui les distingue des PLANOSOLS.

L'horizon S ( $\text{pH} > 5,0$ ; rapport S/T  $> 20\%$ ) n'est pas un Sal, ce qui empêche le rattachement aux ALOCRISOLS.



# SOLUMS CARBONATÉS ET SATURÉS

(climats tempérés)

M.C. Girard et D. Baize

Ce chapitre traite des solums qui évoluent dans une ambiance physico-chimique dominée par les ions  $\text{Ca}^{++}$  et/ou  $\text{Mg}^{++}$  mais qui ne présentent pas les caractères des VERTISOLS, des GYPSOSOLS ni l'horizon A chernique. Il rassemble des solums carbonatés (RENDOSOLS, CALCOSOLS et DOLOMITOSOLS) et des solums calciques ou magnésiques (RENDISOLS, CALCISOLS et MAGNÉSISOLS).

Dans les solums carbonatés, les ions  $\text{Ca}^{++}$  et/ou  $\text{Mg}^{++}$  sont présents en surabondance. En ce qui concerne les RENDISOLS et CALCISOLS, le « ravitaillement » du solum en ces ions est assuré par un matériau calcaire sous-jacent (roche-mère ou substrat), par des éléments grossiers ou par un apport latéral. Les CALCARISOLS sont caractérisés par l'accumulation de calcite secondaire. Dans la quasi-totalité des cas, l'ambiance dominée par les ions  $\text{Ca}^{++}$  et/ou  $\text{Mg}^{++}$  est due à une roche riche en calcite et/ou en dolomite.

Cette proposition repose sur la définition de 11 Horizons de Référence (Aca, Ado, Aci, Amg, Sca, Sdo, Sci, Smg, K, Kc et Km).

## Définitions préalables

- carbonaté** qualifie un horizon ou un solum qui contient plus de 5 % de calcite ou de dolomite dans la terre fine. Effervescence généralisée avec HCl à froid ou à chaud.
- calcaire** qualifie un horizon ou un solum carbonaté dans lequel  $\text{CaCO}_3$  est seul présent ou très largement majoritaire (rapport molaire  $\text{CaCO}_3/\text{MgCO}_3 > 8$ ). Effervescence à froid généralisée dans la masse. Sera considéré également comme « calcaire » un horizon ou un solum non calcaire dans la terre fine mais qui contient des graviers et cailloux calcaires en grand nombre dans sa masse.
- dolomiteux** qualifie un horizon ou un solum carbonaté qui présente un rapport molaire  $\text{CaCO}_3/\text{MgCO}_3$  compris entre 1,5 et 8.

**dolomitique** qualifie un horizon ou un solum carbonaté dans lequel  $MgCO_3$  est du même ordre de grandeur que  $CaCO_3$  ou est dominant (rapport molaire  $CaCO_3/MgCO_3 < 1,5$ ). Pas d'effervescence à froid ou très faible.

Ces définitions impliquent le souci de doser  $CaCO_3$  et  $MgCO_3$ . La méthode employée par Dupuis (1969) peut être préconisée : attaque à  $60\text{ }^\circ\text{C}$  par un excès d'acide chlorhydrique puis titrage en retour de l'acide restant par une solution basique (ce qui permet de doser les « carbonates totaux ») et, sur le même extrait, dosage de  $Ca^{++}$  et  $Mg^{++}$  par complexométrie (ce qui permet de déterminer  $CaCO_3$  et  $MgCO_3$ ). C'est pourquoi le rapport molaire a été choisi pour comparer les abondances relatives de  $CaCO_3$  et  $MgCO_3$  (voir tableau annexé). Un problème demeure pour interpréter les publications anciennes : car  $MgCO_3$  n'a pas été dosé.

**saturé** qualifie un horizon ou un solum non carbonaté dont le complexe adsorbant est entièrement occupé par les cations échangeables alcalino-terreux et alcalins et principalement par  $Ca^{++}$  et  $Mg^{++}$  (d'où un rapport S/T =  $100 \pm 5\%$ ).

**calciq**ue qualifie un horizon ou un solum saturé, subsaturé ou resaturé, dans lequel  $Ca^{++}$  est largement dominant (rapport  $Ca^{++}/Mg^{++} > 5$ ). Pas d'effervescence ou seulement localement ou ponctuellement.

**calcimagnésique** qualifie un horizon ou un solum saturé, subsaturé ou resaturé, dans lequel le rapport  $Ca^{++}/Mg^{++}$  est compris entre 5 et 2. Pas d'effervescence ou seulement localement ou ponctuellement.

**magnésique** qualifie un horizon ou un solum saturé, subsaturé ou resaturé, dans lequel le rapport  $Ca^{++}/Mg^{++}$  est  $< 2$  (mais supérieur à 0,2). Pas d'effervescence à froid ni à chaud.

## 11 horizons de référence

<b>Aca</b> (calcaire)	<b>Sca</b> (calcaire)
<b>Ado</b> (dolomitique)	<b>Sdo</b> (dolomitique)
<b>Aci</b> (calciq	<b>Sci</b> (calciq
<b>Amg</b> (magnésique)	<b>Smg</b> (magnésique)
<b>K, Kc</b> (calcariques)	<b>Km</b> (pétrocalcarique)

### Horizon A calcaire (Aca)

Horizon A biomacrostructuré présentant une effervescence à HCl généralisée à froid ( $> 5\%$  de  $CaCO_3$  au delà de 5 cm de profondeur). La matière organique et les éléments minéraux forment un complexe stable ; le taux de carbone organique est compris entre 1 et 8 %. La structure est bien développée, fine, de type grumeleuse, grenue ou polyédrique. La teinte est comprise

entre 7,5 YR et 2,5 Y (bornes comprises) ; *value* et *chroma* égaux ou inférieurs à 4 mais, s'il y a plus de 40 % de calcaire, la *value* peut être supérieure à 4. Il n'y a pas de taches d'oxydo-réduction. Le pH est compris entre 7,0 et 8,7 (bornes comprises) et le complexe adsorbant est saturé (rapport S/T > 95 %) principalement par Ca<sup>++</sup>. L'horizon Aca comporte souvent des éléments grossiers calcaires.

### Horizon S calcaire (Sca)

Horizon S présentant une effervescence à HCl généralisée à froid. Teneur en CaCO<sub>3</sub> inférieure à celle de l'horizon sous-jacent mais supérieure ou égale à 5 %. Complexe adsorbant saturé (rapport S/T > 95 %) principalement par Ca<sup>++</sup>. Cet horizon comporte souvent des éléments grossiers calcaires et, éventuellement, dolomitiques. Sa structure, généralisée, est polyédrique, fine ou grossière, ou prismatique. Le taux de carbone organique est inférieur à celui de l'horizon sus-jacent et ne dépasse pas 1 % (sinon : notation Scah).

L'horizon Sca peut présenter des taches d'oxydo-réduction (Scag), des traits de redistribution du fer, d'argile et, souvent, de calcaire (Scak). Sa teinte est comprise entre 7,5 YR et 2,5 Y (bornes comprises).

Il existe des horizons A et S carbonatés dolomitiques dans lesquels le rapport molaire CaCO<sub>3</sub>/MgCO<sub>3</sub> est compris entre 1,5 et 8.

### Horizons A et S dolomitiques (Ado et Sdo)

Ces horizons A et S dolomitiques ne font pas effervescence à froid ou très faiblement dans la terre fine. Effervescence généralisée seulement à chaud. MgCO<sub>3</sub> est du même ordre de grandeur que CaCO<sub>3</sub> ou est dominant (rapport molaire CaCO<sub>3</sub>/MgCO<sub>3</sub> < 1,5).

### Horizon A calcique (Aci)

Horizon A biomacrostructuré, non carbonaté dans la terre fine ou seulement ponctuellement ou localement, comportant peu ou ne comportant pas d'éléments grossiers calcaires. Le complexe adsorbant est saturé ou subsaturé (rapport S/T > 80 %) principalement par Ca<sup>++</sup> qui domine largement (rapport Ca<sup>++</sup>/Mg<sup>++</sup> > à 5). Taux de carbone organique inférieur à 8 %. *Value* très variable et teinte de 5 YR à 2,5 Y bornes comprises.

### Horizon S calcique (Sci)

Horizon S non carbonaté dans la terre fine ou seulement ponctuellement ou localement. Structure généralisée, polyédrique fine ou grossière, ou prismatique. Le complexe adsorbant est saturé ou subsaturé (rapport S/T



> 80 %) principalement par  $\text{Ca}^{++}$  qui domine largement (rapport  $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$  > 5). L'horizon Sci peut présenter des traits d'oxydo-réduction ou de redistribution de fer ou d'argile. Le pH est supérieur à 6,5. La teinte est comprise entre 7,5 YR et 2,5 Y (bornes comprises).

Il existe des horizons A et S saturés, subsaturés ou resaturés, **calcimagnésiques** (rapport  $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$  compris entre 5 et 2).

### Horizons A et S magnésiques (A<sub>mg</sub> et S<sub>mg</sub>)

Horizons non carbonatés mais saturés ou subsaturés, où le rapport  $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$  est < à 2.

### Horizon calcaire K

Horizon d'accumulation de calcaire secondaire. Les formes des concentrations sont **discontinues** : revêtements, pseudo-mycéliums, amas friables, filons, nodules. Ces concentrations représentent plus de 15 % de l'horizon en volume. Les racines sont capables de pénétrer la masse de l'horizon.

### Horizon calcaire continu K<sub>c</sub>

Horizon d'accumulation de calcaire secondaire. Les formes des concentrations sont **continues non indurées** : encroûtements massifs, certaines croûtes. Les racines sont capables de pénétrer la masse de l'horizon.

### Horizon pétrocalcaire (K<sub>m</sub>)

Horizon d'accumulation de calcaire secondaire. Les formes des concentrations sont **continues et indurées** : encroûtements nodulaires ou rubanés, dalles, certaines croûtes. Les racines ne peuvent pénétrer la masse de l'horizon K<sub>m</sub> qu'à la faveur de fissures.

## 7 Références

### RENDOSOLS

**Solum diagnostique** : Aca ou LAca / C ou M ou R. Un horizon O peut exister en surface. L'horizon Aca ou LAca fait moins de 30 à 40 cm d'épaisseur. Les RENDOSOLS correspondent aux Rendzines de la CPCS.

Si l'horizon Aca est très humifère dans son ensemble (plus de 8 % de carbone), le solum est rattaché aux ORGANOSOLS CALCAIRES.

**Exemples de types :**

RENDOSOL clair, limono-argileux, issu de craie tendre  
 RENDOSOL humifère, argilo-limoneux, caillouteux, de fortes pentes  
 RENDOSOL limono-argileux, cultivé, issu de marne poudreuse  
 RENDOSOL calcarique, limono-graveleux, issu de calcaire crayeux  
 RENDOSOL dolomiteux, argilo-limoneux, cultivé, issu d'un calcaire dolomitique

**RENDISOLS**

Solum Aci ou LAci / C ou R ou M

**Exemples de types :**

RENDISOL humifère, argileux, fersiallitique, sur calcaire dur  
 RENDISOL argilo-limoneux, cultivé, issu de marne argileuse  
 RENDISOL calcimagnésique, limono-argileux, issu de calcaire dolomitique

**CALCOSOLS**

**Solum diagnostique :** présence obligatoire de l'horizon Sca

Aca ou LAca/Sca/C ou M ou R

ouAci ou LAci/Sca/C ou M ou R

Les CALCOSOLS correspondent sensiblement aux « sols bruns calcaires » de la CPCS.

**Exemples de types :**

CALCOSOL argileux, issu de marne  
 CALCOSOL graveleux, pétro-calcarique, issu de grèze litée  
 CALCOSOL limono-graveleux, de versant, issu d'une formation de pente  
 CALCOSOL pierreux, humifère, décarbonaté en surface,  
 CALCOSOL fluviatique, argileux, peu perméable  
 CALCOSOL dolomiteux, leptique, limono-argileux, issu de calcaire dolomitique

**DOLOMITOSOLS**

**Solum diagnostique :** horizons Ado/Sdo. Horizons carbonatés dans lesquels  $MgCO_3$  est du même ordre de grandeur que  $CaCO_3$  ou est dominant (rapport molaire  $CaCO_3/MgCO_3 < 1,5$ ). Pas d'effervescence à froid ou très faible. La roche sous-jacente contient de la dolomite (dolomie, calcaire dolomitique ou magnésien, gypse impur, etc.).

**Exemples de types :**

DOLOMITOSOL leptique, humifère, sablo-limoneux, issu de gypse  
 DOLOMITOSOL argilo-limoneux, rougeâtre, issu de calcaire dolomitique

**CALCISOLS**

**Solum diagnostique :** Aci ou LAci / Sci / C ou M ou R

Le solum est saturé par  $\text{Ca}^{++}$  et/ou  $\text{Mg}^{++}$  ( $\text{S/T} > 80\%$ ) mais  $\text{Ca}^{++}$  est largement dominant (rapport  $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++} > 5$ ). Les CALCISOLS peuvent présenter une effervescence localement ou ponctuellement. Il existe un stock de calcium (sous forme de  $\text{CaCO}_3$ ) soit en amont, soit sous-jacent dans le substrat ou dans la roche-mère, soit dans des éléments grossiers (c'est la différence avec les BRUNISOLS SATURÉS).

Les CALCISOLS correspondent sensiblement aux « sols bruns calciques » de la CPCS.

**Exemples de types :**

CALCISOL argileux, leptique, kaolinitique, d'érosion, sur calcaire dur  
 CALCISOL argileux, caillouteux, leptique, sur calcaire dur  
 CALCISOL argileux, issu de marnes oxfordiennes  
 CALCISOL vertique, smectitique, cultivé  
 CALCISOL calci-magnésique, argilo-limoneux, cultivé, issu de calcaire dolomitique du Muschelkalk.

Problème des intergrades CALCISOLS-CALCOSOLS

Si le solum diagnostique est Aci ou LAci / Sci / Sca / C ou M ou R

- si l'épaisseur de [Aci + Sci] est nettement inférieure à celle de Sca → CALCOSOL décarbonaté en surface ;
- si l'épaisseur de [Aci + Sci] est nettement supérieure à celle de Sca → CALCISOL bathycarbonaté ;
- si l'épaisseur de [Aci + Sci] est du même ordre que celle de Sca → CALCISOL-CALCOSOL.

**MAGNÉSISOLS**

**Solum diagnostique :** Amg / Smg. Horizons saturés dans lesquels le rapport  $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$  est  $< 2$ . Pas d'effervescence à froid ni à chaud.

**Exemple de type :**

MAGNÉSISOL leptique, argileux, sur calcaire dolomitique

**CALCARISOLS**

Solums dans lesquels un horizon Kc ou Km débute à moins de 20-25 cm de profondeur avec une épaisseur de plus de 10 cm. Au-dessus de l'horizon Kc ou Km, on observe en général un horizon Aca, plus rarement un Aci. Entre A et Kc ou Km, il peut y avoir un mince horizon Sca ou Sci.

**Exemples de types :**

CALCARISOL hyper-calcaire, pétrique,... (solum Aca/Km)  
 CALCARISOL calcique,... (solum Aci/Kc)

## **Prise en compte de caractères fonctionnels ou pédogénétiques**

Le fonctionnement des couvertures pédologiques, surtout lorsqu'elles sont peu épaisses, est fortement conditionné par la lithologie, l'état et le comportement hydrique des roches dont elles sont issues ou qu'elles surmontent. C'est pourquoi il est recommandé d'adjoindre au nom de la Référence des qualificatifs explicitant les divers caractères suivants.

### **La lithologie de la roche sous-jacente**

Préciser, par exemple, s'il s'agit d'un calcaire dur, tendre, crayeux, oolithique, pur, marneux, magnésien ou dolomitique, d'un grès calcaire, d'une marne ou d'une argilite calcareuse, d'un calcschiste, d'une craie pure ou marneuse, d'un sable dunaire, d'un falun, etc.

L'information lithologique apporte en outre une information utile quant à la teneur en résidus non calcaires de la roche. Plus cette teneur est élevée, plus rapidement peut s'opérer la décarbonatation complète et plus grande est la quantité de matière libérée, susceptible de participer à l'évolution pédogénétique. Peuvent être à signaler également : feuilletage, débit particulier, présence de joints marneux, accidents siliceux (silex, chailles, meulière, gaize).

### **L'état de la roche sous-jacente**

L'état de dislocation ou de fissuration, le pendage fortement redressé des couches géologiques sont autant de caractères qui ont des conséquences importantes sur les possibilités d'enracinement des plantes, plus ou moins notables selon le type biologique du végétal et la durée de son implantation (plantes annuelles ou pérennes, végétal herbacé, arbuste ou arbre). Les racines, profitant des dislocations ou fissurations, peuvent pénétrer très profondément dans la roche, sur plusieurs mètres, et contribuer à l'accélération de l'altération.

Sont à disposition (à titre d'exemple) les qualificatifs suivants :

- à couche R disloquée
- à couche R cryoturbée
- à couche R diaclasée
- à couche R à pendage redressé
- à lézines, etc.

Par combinaison des 2 premières informations on obtient :

- issu d'un calcaire dur disloqué
- issu d'une craie tendre cryoturbée
- issu d'un calcaire dur fortement diaclasé
- sur calcaire dur, en dalles, à joints marneux, etc.

## Le pédoclimat du solum

Les éléments précédents et la situation géomorphologique déterminent le fonctionnement hydrique du solum. Celui-ci peut se situer entre deux situations extrêmes formalisées, dans le cas des solums carbonatés ou calciques, par les deux qualificatifs définis ci-après.

- à **ressuyage accéléré** : la fissuration « en grand » de la roche sous-jacente et/ou la position géomorphologique conduit à une accélération du ressuyage. L'eau passe très vite à travers la couverture pédologique et va ensuite circuler rapidement dans la masse de la roche. En conséquence, le pédoclimat est relativement sec, les données pluviométriques ne constituant pas un bon indicateur de l'ambiance hydrique du solum. Dans certains sites, la lixiviation peut-être très importante, entraînant une acidification rapide de l'ensemble du solum. Cette situation est typiquement celle des paysages karstiques, associés à des calcaires durs, largement fissurés ou diaclasés ;

- à **ressuyage ralenti** : à l'opposé, la faible macroporosité du solum et de la roche sous-jacente conduit à un ralentissement considérable du ressuyage. C'est typiquement le cas des solums développés à partir de matériaux marneux ou à partir d'argilites calcareuses.

## L'abondance du calcaire

L'ambiance physico-chimique d'un horizon est fort différente selon qu'il contient 10 ou 75 % de calcaire total. Les effets de l'abondance du calcaire et de sa réactivité interviennent sur :

- le blocage de certains éléments fertilisants et de certains éléments traces ;
- le développement de diverses plantes ou variétés (espèces plus ou moins calcifuges, choix des porte-greffes) ;
- la couleur et les propriétés radiométriques de l'horizon de surface. Celui-ci est plus clair si la teneur en calcaire total est supérieure à 40 %, et l'estimation du taux de matière organique peut en être faussée.

Aussi, l'abondance du calcaire doit-elle être prise en compte pour préciser la désignation des solums. La teneur en calcaire total sera prioritairement jugée sur les horizons Sca, s'ils existent. Sont proposés les deux qualificatifs suivants :

- **hypo-calcaire** : moins de 15 % de calcaire total,
- **hyper-calcaire** : plus de 40 % de calcaire total **et** plus de 15 % de calcaire « actif ».

## Le lien pédogénétique avec la roche sous-jacente

Si cela est connu, il est bon de préciser si le matériau sous-jacent est considéré comme la véritable roche-mère du solum ou s'il s'agit seulement d'un substrat : dans le premier cas, on emploie le terme syntaxique « **issu de** », dans le second cas le terme « **sur** ».

**Exemples :**

CALCOSOL issu de marne feuilletée  
 CALCOSOL sur calcaire dur en dalles  
 RENDOSOL issu d'un calcaire dur  
 DOLOMITOSOL issu de gypse.

**Autres qualificatifs utiles**

<b>carbonaté, calcaire, dolomiteux, dolomitique, saturé, calcique, calcimagnésique, magnésique</b>	cf. définitions ci-dessus.
<b>calcarique</b>	présence d'un horizon K ou Kc dans le solum, à plus de 20-25 cm de profondeur.
<b>pétrocalcarique</b>	présence d'un horizon Km dans le solum, à plus de 20-25 cm de profondeur.
<b>rédoxique</b>	apparition de caractères d'oxydo-réduction entre 50 et 80 cm de profondeur.
<b>leptique</b>	épaisseur du solum inférieure à la norme (ensemble des horizons A + S < 30-40 cm pour les CALCOSOLS, DOLOMITOSOLS, CALCISOLS et MAGNÉSISOLS.
<b>pachique</b>	épaisseur du solum supérieure à la norme (> 30-40 cm pour les RENDOSOLS et RENDISOLS ; ensemble des horizons A + S > 80-95 cm d'épaisseur pour les CALCOSOLS, DOLOMITOSOLS, CALCISOLS et MAGNÉSISOLS.
<b>décarbonaté en surface</b>	pour un CALCOSOL = à solum Aci/Sca (intergrade vers un CALCISOL).
<b>insaturé en surface</b>	pour un CALCISOL = solum A/Sci (rattachement imparfait).
<b>bathycarbonaté</b>	pour un CALCISOL = solum Aci/Sci /Sca (intergrade vers un CALCOSOL).
<b>pétri que</b>	pour un CALCARISOL dont l'horizon K est induré (Km).
<b>vertique, fluvi que, humifère, colluvial, cumulique, etc.</b>	

	Solums carbonatés			Solums non carbonatés saturés ou subsaturés		
	Rapport molaire $\text{CaCO}_3/\text{MgCO}_3$ compris entre 1,5 et 8,0			Rapport $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$ compris entre 5 et 2		
	> 8,0		< 1,5	> 5		< 2
< 10 cm	RÉGOSOLS					
	calcaire	dolomiteux	dolomitique	calcique	calcimagnésique	magnésique
Horizon A ou LA seul	RENDOSOLS Aca dolomiteux		leptique Ado	RENDISOLS Aci calcimagnésique		leptique Amg
Horizons A ou LA et S	CALCOSOLS Aca Sca dolomiteux		DOLOMITOSOLS Ado Sdo	CALCISOLS A ou ACi Sci calcimagnésique		MAGNÉSISOLS Amg Smg
Kc ou Km à moins de 25 cm	CALCARISOLS					
	calcaire	dolomiteux	dolomitique	calcique	calcimagnésique	magnésique
Texture très sableuse	ARÉNOSOLS					
	calcaire	dolomiteux	dolomitique	calcique		

## Compléments au tableau ci-contre

- RENDOSOLS : - horizon Aca seul présent  
 - épaisseur de Aca < 30-40 cm (tolérance de 10 cm)  
 - rapport molaire  $\text{CaCO}_3/\text{MgCO}_3 > 8$   
**pachique** si Aca > 30-40 cm (tolérance de 10 cm)  
**dolomiteux** si rapport molaire  $\text{CaCO}_3/\text{MgCO}_3$  compris entre 1,5 et 8  
**calcarique** si présence d'un horizon K ou Kc à plus de 20-25 cm de profondeur  
**pétoalcalcarique** si présence d'un horizon Km à plus de 20-25 cm de profondeur.
- CALCOSOLS : - horizons Aca et Sca superposés  
 - épaisseur de Aca + Sca > 30-40 cm (tolérance de 10 cm)  
 - rapport molaire  $\text{CaCO}_3/\text{MgCO}_3 > 8$   
**leptique** si épaisseur Aca + Sca < 30-40 cm (tolérance de 10 cm)  
**dolomiteux** si rapport molaire  $\text{CaCO}_3/\text{MgCO}_3$  compris entre 1,5 et 8  
**calcarique** si présence d'un horizon K ou Kc à plus de 20-25 cm de profondeur  
**pétoalcalcarique** si présence d'un horizon Km à plus de 20-25 cm de profondeur.  
**décarbonaté en surface** : solum Aci / Sca
- DOLOMITOSOLS : - horizon A dolomitique / S dolomitique ou A dolomitique seul.  
 - épaisseur de Ado ou Ado + Sdo > 30-40 cm (tolérance de 10 cm)  
**leptique** si Ado ou Ado + Sdo < 30-40 cm (tolérance de 10 cm).

**Attention** : de nombreux solums très sableux, à structure particulaire, développés dans des sables calcaires ou dolomitiques ne sont pas rattachés aux CALCOSOLS, RENDOSOLS ou DOLOMITOSOLS mais soit aux ARÉNOSOLS (calcaires, dolomiteux ou dolomitiques), soit aux RÉGOSOLS sableux (si solum A/C, et horizon humifère de surface < 10 cm d'épaisseur).

- RENDISOLS : - horizon Aci seul présent  
 - épaisseur de Aci < 30-40 cm (tolérance de 10 cm)  
 - rapport  $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++} > 5$   
**pachique** si Aci > 30-40 cm (tolérance de 10 cm)  
**calci-magnésique** si rapport  $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$  compris entre 5 et 2  
**calcarique** si présence d'un horizon K ou Kc à plus de 20-25 cm de profondeur  
**pétoalcalcarique** si présence d'un horizon Km à plus de 20-25 cm de profondeur.
- CALCISOLS : - horizons Aci et Sci superposés  
 - épaisseur de Aci + Sci > 30-40 cm (tolérance de 10 cm)  
 - rapport  $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++} > 5$   
**leptique** si Aci + Sci < 30-40 cm d'épaisseur (tolérance de 10 cm)  
**calci-magnésique** si rapport  $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$  compris entre 5 et 2  
**calcarique** si présence d'un horizon K ou Kc à plus de 20-25 cm de profondeur  
**pétoalcalcarique** si présence d'un horizon Km à plus de 20-25 cm de profondeur.  
**bathycarbonaté** si présence d'un Sca peu épais sous l'horizon Sci.
- MAGNÉSISOLS : - horizon A magnésique / S magnésique ou A magnésique seul.  
 - épaisseur de Amg ou Amg + Smg > 30-40 cm (tolérance de 10 cm)  
 - rapport  $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++} < 2$   
**leptique** si Amg ou Amg + Smg < 30-40 cm d'épaisseur (tolérance de 10 cm)
- CALCARISOLS : - présence d'un horizon Kc ou Km à moins de 20-25 cm de profondeur  
 - cet horizon Kc ou Km a une épaisseur d'au moins 10 cm.  
**pétrique** si horizon Km à moins de 20-25 cm de profondeur  
**calcaire, calcique, dolomiteux**, etc., selon les propriétés de l'horizon de surface.



### Quelques exemples d'ensembles cognats carbonatés

#### Ensemble cognat des solums dolomitiques :

- tous les DOLOMITOSOLS
- RÉGOSOLS et LITHOSOLS dolomitiques
- ARÉNOSOLS dolomitiques, etc.

#### Ensemble cognat des solums dolomiteux :

- RENDOSOLS dolomiteux
- CALCOSOLS dolomiteux
- RÉGOSOLS et LITHOSOLS dolomiteux
- CALCARISOLS dolomiteux
- ARÉNOSOLS dolomiteux, etc.

#### Ensemble cognat des solums calcaires à faible profondeur exploitable :

- RÉGOSOLS et LITHOSOLS calcaires
- tous les RENDOSOLS
- CALCOSOLS leptiques
- CALCARISOLS calcaires, etc.

### Rapports $\text{CaCO}_3 / \text{MgCO}_3$

Nom des roches (classification chimique) <sup>1</sup>	% de dolomite <sup>3</sup>	Rapport molaire théorique $\text{CaCO}_3 / \text{MgCO}_3$ <sup>4</sup>	Rapport pondéral $\text{CaCO}_3 / \text{MgCO}_3$
Dolomies	100 - 90	1 - 1,22	1,19 - 1,32
Dolomies calcaireuses <sup>2</sup>	90 - 50	1,22 - 3	1,32 - 2,37
Calcaires dolomitiques	50 - 10	3 - 19	2,37 - 11,87
Calcaires magnésiens	10 - 5	19 - 39	11,87 - 23,75
Calcaires	5 - 0	> 39	> 23,75

(1) D'après L. Cayeux repris par J. Jung (1953).

(2) Ou calcairifères.

(3) La dolomite est un minéral ; carbonate double :  $(\text{Ca}, \text{Mg}) (\text{CO}_3)_2$ , non effervescent à froid.

# CHERNOSOLS

D. Baize, G. Aubert et G. Lupascu

Les CHERNOSOLS sont caractérisés par l'existence obligatoire d'un horizon Ach (A « chernique ») épais d'au moins 40 cm. Selon les cas, il y a aussi éventuellement présence d'horizons Sh, St, BTh, Ck, K ou Yp. Leur solum présente toujours un caractère vermique et un caractère clino-humique.

## ***Conditions bioclimatiques de formation de l'horizon Ach***

La végétation est steppique ou sylvo-steppique. Aux herbacées s'ajoutent les feuilles et brindilles des arbres d'où d'abondantes matières organiques fraîches déposées en surface et décomposition annuelle des systèmes racinaires des graminées.

Climat continental assez rude : des périodes froides (avec gel prolongé en Russie, Ukraine, Moldavie) alternent avec des périodes sèches et plus chaudes. Une partie des matières organiques est minéralisée par l'activité micro-biologique, le reste s'accumule (stabilisation physico-chimique et maturation climatique) avec une couleur noire (mélánisation). Un brassage des matières organiques et des matières minérales intervient en outre sous l'action de la mésofaune (caractère vermique) et de la macro-faune (crotovinas).

## ***Caractère vermique et activité biologique***

L'activité des micro-organismes mais surtout celle de la mésofaune est intense au printemps et à l'automne ; aux autres saisons elles se concentrent davantage en profondeur (gel ou sécheresse de la partie supérieure). Elle s'exprime macroscopiquement dans les horizons supérieurs humifères par une grande abondance de tubules, par de nombreux coprolithes (sphérules de l'ordre du millimètre de diamètre) et par des loges ovoïdes aux parois tapissées de revêtements noirs. Plus en profondeur, on observe de nombreuses crotovinas (galeries de 4 à 6 cm de diamètre, à section ronde, résultant de l'activité de la macro-faune) provoquant des descentes de matériaux noirs dans les horizons C jaunâtres (parfois l'inverse) jusqu'à des profondeurs de l'ordre de 1,5 à 2 mètres.

### **Caractère clino-humique et transitions graduelles**

Les matières organiques sont très abondantes à la surface du solum, puis la teneur décroît progressivement avec la profondeur (il y a encore au moins 0,6 % de carbone organique à plus de 40 cm de profondeur dans un horizon Ach, Sh ou BTh).

De même, la transition entre l'horizon de surface Ach et l'horizon sous-jacent est toujours très graduelle en ce qui concerne la couleur, la teneur en carbone et la structure. Il en va de même de la transition entre les horizons Sh ou BTh et l'horizon C sous-jacent.

### **Les roches-mères**

Ce sont des roches meubles, souvent assez riches en argile (20 à 30 %) ou en minéraux altérables : loess et dépôts dits « loessoïdes », dépôts de terrasses, ou bien des marnes, ou des argiles sédimentaires, plus ou moins remaniées.

### **L'horizon chimique Ach**

Horizon A riche en matières organiques très évoluées, dont la teneur diminue progressivement avec la profondeur (caractère « clinohumique »). En conditions de végétation permanente, la teneur en carbone est d'au moins de 3 % dans les 10 premiers centimètres pour une texture argilo-limoneuse. Les acides humiques (surtout acides humiques gris) et l'humine sont plus abondants que les acides fulviques.

L'horizon Ach présente une couleur noire : sa *value* à l'état humide est inférieure à 3,5 dans l'ensemble de l'horizon. Cette couleur est plus foncée que celle de l'horizon sous-jacent, sauf dans certains cas d'horizons de surface labourés. Son *chroma* à l'état pétri humide est égal ou inférieur à 2.

Le Ach est généralement non calcaire ; il peut l'être faiblement (moins de 5 %).

En conditions de végétation permanente, la structure est grenue, grumeleuse ou polyédrique subangulaire fine ou très fine ou à sous-structure fine (agrégats < 2 mm). Cette structure caractéristique est due notamment à de fréquents brassages d'origine biologique. Elle peut être partiellement ou totalement dégradée en surface par la mise en cultures (horizon LAh agricompacté, à structure polyédrique grossière et tendance massive).

Le complexe adsorbant est saturé ou sub-saturé, principalement par le calcium ; le pH est compris entre 6,0 et 8,3.

L'horizon Ach est relativement meuble et poreux, il permet un bon enracinement profond, il présente habituellement une capacité de rétention élevée pour l'eau. Gelé pendant l'hiver (Russie, Ukraine), plus ou moins engorgé au dégel, il connaît ensuite des successions d'humectations et de desiccations plus ou moins prolongées qui influent sur la maturation de l'humus.

**Autres horizons**

L'horizon Sh : variante d'horizon S non calcaire, riche en matières organiques (plus de 0,6 % de carbone) à la fois dans la masse et par des revêtements humifères sur les faces d'agrégats.

L'horizon St : variante d'horizon S où l'on peut observer quelques fins revêtements argileux (souvent également humifères) sur les faces d'agrégats. L'illuviation d'argile est jugée insuffisante pour considérer cet horizon comme un véritable horizon BT.

L'horizon BTh : variante d'horizon BT à très nombreux revêtements argilo-humifères sur les faces d'agrégats et sur les parois de la macro-porosité. Teneurs en carbone organique supérieures à 0,6 %.

L'horizon Ck : horizon C   l'intérieur duquel on observe des traits d'accumulation de calcite secondaire (sous la forme de veinules, nodules ou « poupées », pseudo-mycéliums) mais où cette accumulation est jugée insuffisante pour considérer cet horizon comme un véritable horizon K.

En profondeur, on peut parfois observer des horizons BT non humifères, de couleur brune, situés sous l'horizon BTh ou Sh. La formation de ces horizons BT résulterait d'une phase pédogénétique ancienne, antérieure à la formation de l'épisolum humifère.

**3 Références****CHERNOSOLS HAPLIQUES**

Solum diagnostique : Ach/Ck            LAch ou LAh/Ck sous cultures.

Il n'y a pas d'horizons BTh, ni Sh.

L'horizon Ach est épais d'au moins 40 cm. Il peut être calcaire dès la surface mais alors la teneur en CaCO<sub>3</sub> n'excède pas 5 %.

La transition entre l'horizon Ach et l'horizon Ck est progressive (horizon ACK).

L'horizon Ck apparaît entre 60 et 85 cm de profondeur ; c'est un horizon calcaire montrant des accumulations de carbonates sous forme d'efflorescences, veinules ou nodules.

**CHERNOSOLS TYPIQUES**

Solum diagnostique : Ach/Sh/Ck            LAch ou LAh/Sh/Ck sous cultures.

Absence d'horizon BTh.

L'horizon Ach est épais de plus de 40 cm et non calcaire. Son rapport S/T est compris entre 85 et 95 %.

La transition entre l'horizon Ach et l'horizon Sh sous-jacent est progressive (horizon AS).

L'horizon Sh montre une couleur sombre, sa structure est polyédrique sub-angulaire, polyédrique anguleuse ou prismatique assez fine. Il n'est pas calcaire. Sa teneur en carbone organique est encore supérieure à 0,6 % dans sa partie supérieure.

L'horizon Ck débute à une profondeur comprise entre 70 et 120 cm ; accumulations de calcaire secondaire sous la forme de veinules et de nodules.

L'indice de différenciation texturale entre Ach et Sh est inférieur à 1,3.

## CHERNOSOLS MÉLANOLUVIQUES

Solum diagnostique : Ach / BTh / Ck LAch ou LAh / BTh / Ck sous cultures.

L'horizon Ach est épais de plus de 40 cm et non calcaire. Sa structure est polyédrique sub-angulaire fine. Son rapport S/T est compris entre 75 et 90 %.

La transition entre l'horizon Ach et l'horizon BTh sous-jacent est progressive (horizon AB).

L'horizon BTh est épais d'au moins 40 cm et non calcaire. Il est de couleur brun-noir à l'état humide. Sa structure est prismatique à sous-structure polyédrique fine avec présence de nombreux revêtements argilo-humifères. Sa teneur en carbone organique est encore supérieure à 0,6 % dans sa partie supérieure. Le rapport S/T est compris entre 75 et 90 %.

L'horizon Ck apparaît entre 100 et 160 cm de profondeur.

L'indice de différenciation texturale entre Ach et BTh est supérieur à 1,3.

## Qualificatifs utiles

- |                     |  |
|---------------------|--|
| <b>méridional</b>   | qualifie un CHERNOSOL de la province la plus méridionale (Bulgarie). Le climat peu froid (pas de gel prolongé) est responsable d'une plus forte minéralisation des matières organiques, de teneurs en carbone moindres et d'une couleur moins noire. |
| <b>carbonaté</b>    | qualifie un CHERNOSOL HAPLIQUE calcaire dès la surface.  |
| <b>leptique</b>     | l'épisolum humifère dans son ensemble (Ach ou LAch, et Sh ou BTh) présente une épaisseur inférieure à 50 cm.   |
| <b>agricompacté</b> | horizon Ah fortement compacté sous l'action d'une agriculture mal menée. En conséquence sa structure originelle fine ou très fine est complètement détruite, sa porosité et son activité biologique sont très diminuées.                             |
| <b>alcalisé</b>     | CHERNOSOL dans lequel $\text{Na}^+$ représente entre 5 et 15 % de la somme des cations échangeables alcalins et alcalino-terreux.  |
| <b>anacarbonaté</b> | remontées de $\text{CaCO}_3$ secondaire sous forme de pseudomycéliums dans les horizons S ou BT, suite à une évapotranspiration supérieure aux précipitations (certaines années). Recarbonatation <i>per ascensum</i> .                              |

<b>néoluvique</b>	qualifie certains CHERNOSOLS TYPIQUES présentant quelques traits d'illuviation d'argile (horizon St) mais indice de différenciation texturale < 1,3).
<b>bathyluvique</b>	présence en profondeur d'horizons BT non humifères ne correspondant plus au fonctionnement actuel du solum.
<b>calcarique</b>	présence en profondeur d'un véritable horizon K.
<b>gypsique</b>	présence en profondeur d'un horizon Yp.
<b>cumulique</b>	
<b>rédoxique</b>	
<b>à horizon réductique de profondeur, etc.</b>	



# COLLUVIOSOLS

D. Baize

Les COLLUVIOSOLS sont définis par leur roche-mère : les colluvions. C'est pourquoi ils occupent des positions particulières dans les paysages et présentent de ce fait des propriétés morphologiques et de fonctionnement spécifiques. En ce sens, il y a analogie avec les FLUVIOSOLS.

## Les colluvions

Les colluvions sont des formations superficielles particulières de versants qui résultent de l'**accumulation progressive** de matériaux pédologiques, d'altérites ou de roches meubles arrachés plus haut dans le paysage. Le colluvionnement ne peut exister qu'à condition que la couverture végétale ne soit pas continue.

Ces matériaux ont été transportés le plus souvent par ruissellement sur de courtes distances selon les lignes de plus grandes pentes d'un versant. Cette mobilisation peut être combinée : - avec l'action des pipkrakes (cf. CRYOSOLS) libérant des particules ou des agrégats ; - avec des coulées de boue, en cas de fonte de neige ou d'averses brutales. La reptation du sol en masse (reptation thermohydrique) et la solifluxion périglaciaire n'appartiennent pas à ce système. A la différence des alluvions, il s'agit généralement de dépôts de compétence, donc microtriés (courbes de Hjulstrom), caractérisés par une perte en argiles ou autres colloïdes dispersables, et remaniant quelques éléments grossiers arrachés en amont (graviers, charbons de bois, terre cuite, débris végétaux). Selon les conditions climatiques responsables de leur mise en place, les colluvions conservent plus ou moins les caractères pédologiques de leurs matériaux d'origine :

- caractères de constitution (humifère, calcaire, etc.),
- caractères physico-chimiques (méso-saturé, calcique),
- caractères d'organisation (micro-structures),
- caractères d'évolution ancienne (fersiallitique, par exemple).



La préservation de ces caractères dépend de l'état hydrique initial du sol, de la stabilité de son agrégation, de la rugosité de sa surface et de l'énergie cinétique mise en oeuvre (intensité de la pluie). L'efficacité du colluvionnement croît après une période de sécheresse ou surtout de gel (micro-agrégation).

Les volumes mis en place au cours de chaque épisode d'épandage sont difficiles à mettre en évidence, étant donné qu'ils sont souvent peu épais et que leur intégration à la pédogenèse pré-existante est assez rapide (bioturbation, labours). C'est pourquoi il est difficile de mettre ces matériaux en évidence (sinon par l'existence d'éléments allochtones), et d'y déceler une évolution pédologique, en raison de leur mise en place relativement récente : fin du Quaternaire ou périodes historiques.

### **Pédogenèse - Horizons de référence - Morphologie**

L'évolution pédologique transforme les colluvions comme toute autre roche meuble de constitution analogue. Cette évolution est plus ou moins rapide selon l'état d'altération préalable des matériaux d'origine, selon la resaturation en cations échangeables (colluvions post-feu) ou selon un enrichissement relatif en limons (milieu granitique).

Une caractéristique des COLLUVIOSOLS est l'indépendance totale du solum colluvial vis-à-vis du matériau sous-jacent (substrat ou autre solum). Cependant, l'intervention de la reptation, de la bioturbation, etc., fait que la limite inférieure de la formation colluviale n'est pas toujours nette. En outre, plusieurs matériaux différents ont pu être colluvionnés successivement et se trouver aujourd'hui superposés ou plus ou moins mélangés. A noter enfin que plus on se déplace vers le bas des versants, plus les formations colluviales ont tendance à s'épaissir.

Il n'y a pas d'horizons de référence spécifiques des COLLUVIOSOLS : les horizons A, Js, Jp, S, C sont les plus fréquents. Les horizons BT, FS, BP, sont interdits. Un solum développé dans des colluvions sera donc rattaché aux COLLUVIOSOLS tant qu'on n'aura pas diagnostiqué le solum caractéristique d'une autre Référence (cf. « Remarques » ci-après).

Si les horizons de surface d'un solum ont été sur-épaissis par colluvionnement « sur eux-mêmes », on se rattache à une Référence (autre que COLLUVIOSOLS) et on ajoute le qualificatif « cumulique ». Exemple : LUVISOL TYPIQUE, resaturé, fragique, cumulique.

Si les apports colluviaux sont inférieurs à 50 cm, on ajoute au nom d'une Référence le qualificatif « colluvionné en surface ». Exemple : CALCOSOL argilo-limoneux, colluvionné en surface, issu de marne.

C'est seulement lorsque les matériaux colluvionnés excèdent 50 cm à partir de la surface, qu'on rattache le solum entier aux COLLUVIOSOLS. Dans le cas où le solum enfoui sous les colluvions est reconnaissable, on peut utiliser la formule : COLLUVIOSOL... sur autre Référence. Exemple : COLLUVIOSOL argilo-caillouteux, calcaire, sur FERSIALSOL CALCIQUE argileux, tronqué.

## Situations géomorphologiques

Les COLLUVIOSOLS s'observent :

- dans les parties concaves et en bas des versants, ainsi qu'en position de piémonts ;
- dans les fonds des vallons, des vallées sèches et des dolines ;
- en milieu de pentes, à la faveur de replats (naturels ou artificiels) ou consécutifs à des aménagements humains disparus ou toujours en place (haies, rideaux, banquettes) ;
- au pied des grands talus de terrasses alluviales ;
- dans les « spatules » des plateaux limoneux, etc.

Les colluvions se raccordent souvent aux alluvions soit graduellement (matériaux d'origine mixte), soit par superposition discordante, soit par interstratification.

## Propriétés de fonctionnement

Ces propriétés varient largement en fonction de la nature des matériaux colluvionnés, de l'importance de la pente, de la position sur le versant, etc. Un certain nombre de caractères fonctionnels particuliers peuvent cependant être cités :

- la dynamique hydrique est essentiellement latérale, qu'il s'agisse de flux superficiels (ruissellements) ou plus profonds ; les COLLUVIOSOLS reçoivent souvent des apports d'éléments en solution, en provenance de la partie haute des versants (Ca, Mg, K, nitrates...) ;
- très souvent il y a engorgement des parties les plus basses à cause de ruptures de pente et par suite des difficultés d'évacuation des eaux (proluvions).
- les atterrissements actuels sont toujours possibles dans les parties basses et la reprise d'érosion possible dans les parties hautes ;
- le niveau de fertilité est exacerbé par accumulation sur une grande épaisseur des horizons de surface arrachés plus haut : si ces derniers sont pauvres, les colluvions sont très pauvres, s'ils sont riches, elles sont très riches ;
- souvent plus pauvres en argile que les sols d'origine d'où une fertilité moindre (cas des colluvions post-incendie et colluvions tropicales) ;
- les COLLUVIOSOLS de bas de versants occupent des emplacements où il peut être utile de pratiquer des cultures pérennes afin de garantir la qualité des eaux contre la pollution agricole diffuse.

## Qualificatifs utiles

**granulométrie**  
**état chimique**

limoneux, argilo-caillouteux...  
mésosaturé, subsaturé, saturé, dystrique, eutriqué, etc.

**constitution**

humifère, calcaire...

**évolution pédologique antérieure**

fersialitique...

<b>position géomorphologique</b>	de spatule, de doline, de versant...
<b>présence d'horizons -g, g ou G</b>	rédoxique, à horizon rédoxique de profondeur, réductique, à horizon réductique de profondeur...
<b>complexe</b>	superposition de plusieurs matériaux colluviaux nettement différents.

## Exemples de types

COLLUVIOSOL argilo-caillouteux, calcaire, de versant, sur marnes  
 COLLUVIOSOL limono-sableux, caillouteux, dystrique, de vallon  
 COLLUVIOSOL argileux, fersiallitique, recarbonaté, de doline  
 COLLUVIOSOL limono-argileux, graveleux, calcaire, de versant, sur argile verte

### *Remarques*

« Colluviosol » a été préféré à « Colluvisol » comme risquant moins d'entraîner la confusion avec « Luvisol ».

Pour certains solons, on peut hésiter entre deux rattachements car le caractère « colluvial » n'est pas toujours évident.

Exemple 1 : COLLUVIOSOL calcaire, humifère, argilo-caillouteux, pachique, de vallon sec

ou CALCOSOL colluvial, argilo-caillouteux, pachique, humifère, de vallon sec

Exemple 2 : BRUNISOL MÉSOSATURÉ, caillouteux, à silex, colluvique, de bas de versant, cultivé

ou COLLUVIOSOL caillouteux, à silex, mésosaturé, cultivé, de bas de versant

Dans les 2 exemples, quel que soit le choix du pédologue, on peut transmettre la même information.

---

Ce chapitre a été rédigé à l'aide des remarques formulées par M. Berland, J. Boulaine, C. Buson, G. Duclos, L. Florentin, B. Fournier, M. Gury, M. Jamagne, J. Pellerin, J. Tricart et B. Van Vliet.

# CRYOSOLS

Brigitte Van Vliet

## Définitions

La morphologie, le fonctionnement et la pédogenèse des CRYOSOLS sont dominés par les alternances de gels et dégels.

Les CRYOSOLS se forment sous des climats froids, de haute altitude ou de haute latitude, plus particulièrement lorsque les étés sont frais, ce qui a pour conséquence ou bien une limitation du couvert végétal (< 50 % de la surface), ou bien la subsistance en profondeur d'une couche gelée pérenne, minérale ou organique, le **pergélisol** (= permafrost - température < 0 °C pendant au moins 2 ans consécutifs), quel que soit le type de couvert végétal. En été, la partie supérieure du solum dégèle sur une certaine profondeur : c'est la **couche active** dans laquelle les horizons pédologiques et la morphologie des CRYOSOLS pourront se développer ; elle subit au moins un cycle gel-dégel annuel. La glace est présente sous forme de lentilles aussi bien dans les horizons supérieurs du pergélisol que dans la couche active en hiver. Sa répartition n'est pas nécessairement homogène ; le régime hydrologique particulier qui découle de sa formation ou de sa fusion va interférer avec le fonctionnement et l'évolution des solums.

On peut distinguer un environnement à :

- gel saisonnier superficiel mais fréquent (montagnes tropicales et subtropicales).
- gel saisonnier profond
  - à période(s) de regel nocturne (montagnes tempérées, domaines subantarctique ou subarctique océanique) ;
  - sans périodes de regel temporaire (domaine subarctique continental).
- pergélisol sporadique : affecte < 30 % de la surface, température moyenne annuelle du sol ( $T_{mas}$ ) < -1°C.
- pergélisol discontinu : affecte entre 30 et 80 % de la surface,  $T_{mas}$  comprise entre -1 °C et -5 °C.
- pergélisol continu : affecte > 80 % de la surface,  $T_{mas}$  < -5 °C.

La répartition du pergélisol dans un paysage et sous un climat donné est en relation avec la qualité du drainage naturel, l'insolation et la présence éventuelle de facteurs d'isolation thermique tels que les lacs ou les accumulations de neige. 40 à 50 % des précipitations annuelles se font sous forme de neige. Le pergélisol peut être qualifié de « sec », s'il ne contient pratiquement pas de glace.

## Caractéristiques des CRYOSOLS

### Phénomènes physiques

- une **ségrégation de glace en lentilles**, saisonnière, organisée parallèlement à la surface topographique ou en réseau réticulé ; elle est responsable du gonflement du sol au gel et l'agent principal de l'acquisition des microstructures cryogéniques. Une forte accumulation de glace s'observe dans la partie supérieure du pergélisol et, en hiver, à la base de la couche active et à son sommet (potentiel matriciel élevé lié au gradient thermique et au changement de phase) ;

- une **agrégation** le plus souvent **lamellaire** du matériau (parfois granulaire ou prismatique court) d'autant plus stable que le matériel est riche en limons fins et colloïdes (minéraux ou organiques) et que les températures minimales sont basses. Le gel est une dessiccation orientée thermiquement ;

- une **désagrégation** ou **gélifraction** du matériel minéral, en relation avec la formation de glace, la présence de sels (haloclastie) et la nature des matières organiques labiles (modification de la conductivité hydrique), avec production de limons et de sables ;

- une **redistribution** des fractions > 0,5 mm résultant de la traction exercée par la glace de ségrégation à l'engel, allant jusqu'à l'expulsion après dégonflement du sol au dégel (cryoexpulsion) ;

- un **lessivage de particules** de taille inférieure à 50 µm selon la porosité disponible en période de dégel, avec la possibilité de constitution dès 5-10 cm de profondeur d'un horizon d'illuviation surtout limoneuse, mais habituellement sans traits distincts, coiffes limoneuses compactes sur cailloux exceptées. Ce phénomène peut modifier à la longue la gélivité d'un horizon et de ce fait le gradient de gélivité au sein d'un solum (cf. mécanismes) ;

- un **engorgement printanier** fréquent sur bas de pente, de préférence en exposition N ou NE, ou en milieu mal drainé ;

- l'apparition fréquente d'un **réseau de fentes de retrait** en cours d'été suite au ressuyage (maille < 2 m) ou de contraction thermique en hiver (maille 2 à 30 m) ;

- un conditionnement de la **microtopographie** en relation directe avec l'état hydrique au moment du gel. Elle est la résultante du gonflement cryogénique différentiel (voir mécanismes) et/ou de la capacité de stockage des précipitations.

## Biogéochimie

- un **potentiel redox** bas, en raison de l'engorgement saisonnier (fonte de la neige et de la glace) et de la très faible activité biologique ;

- une **altération minérale** « potentiellement efficace » en raison de l'accumulation des matières organiques de type fulvique et de la dessiccation par le gel (pF élevé, notamment en période hivernale) mais très limitée par la brièveté de son action (brunification par extraction de  $\text{Fe}^{3+}$  du réseau minéral) car la saison biologique ne dure que 1 à 4 mois ;

- une **dissolution de la calcite** d'autant plus rapide qu'elle est en relation avec l'abondance des précipitations, des cyanophycées, des moisissures, de NaCl (embruns, brouillard), de  $\text{MgCO}_3$  et que la bioturbation est réduite (température, engorgement). Cette calcite (parfois aragonite) reprécipite sous contrôle biologique sous la forme de pendeloques dans les anfractuosités ou dans la macroporosité. Une autre forme en microsphérules est précipitée par les cyanobactéries en milieu hyperdrainé (stress hydrique). Enfin une calcite (ou aragonite) cryogénique apparaît suite à la circulation d'eau dans la macroporosité mais pas dans les sols à texture fine ;

- une **humification** peu poussée (activité biologique réduite, anaérobiose pendant une partie importante de la brève saison végétative), associée à une mélanisation importante (liée à la richesse en  $\text{Ca}^{++}$  et à la dessiccation) et à des rapports C/N bas, souvent < 15. L'apport local d'azote et de cations par les cadavres et les déjections d'oiseaux est un facteur important d'accumulation organique.

Il faut noter en plus que la **capacité d'échange** est souvent très faible (mais le taux de saturation élevé grâce à  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ) en raison de la fraîcheur des minéraux (produits de gélifraction, moraines, loess ou formations glacio-marines) et de la faible abondance des argiles. En très hautes latitudes (déserts polaires) ou en milieu hypercontinental d'altitude (Asie centrale), des précipitations salines sulfatées ou nitratées sont courantes.

## Biologie

- **activité bactérienne** limitée en raison du caractère antibiotique des exsudats de lichens ;

- mais précipitations bactériennes organo-ferriques et carbonatées et activité sulfato-réductrice efficace lorsque la température estivale maximale dépasse + 4 °C (subsurface) en milieu engorgé, actives pendant l'été ;

- formation d'un horizon OL exprimé sous la forme d'une « **croûte cryptogamique** » (complexe d'algues, de lichens et parfois de mousses formant un tapis feutré), lorsqu'elle n'est pas détruite par la formation superficielle d'aiguilles de glace (pipkrakes). Par sa couleur sombre, elle modifie l'albédo de la surface du sol. Sa résistance mécanique au cisaillement limite l'érosion éolienne ou le ruissellement. Elle peut être remplacée par un tapis de mousse ou, après le passage d'un feu, de lichens du genre *Cladonia* ;

- **végétation** : son rôle n'est pas négligeable. Elle favorise par sa présence une meilleure humectation des sols, une fixation des substrats peu gélifs, permettant l'expression de buttes en milieu sableux, le corsetage des coulées de solifluxion. Sa déchirure par les pipkrakes favorise la constitution d'ostioles (flaques de boue). En été, lorsqu'elle est sèche ou épaisse, elle limite le réchauffement du sol et donc la profondeur du dégel, soit par isolation thermique (cf. tourbières), soit par modification de l'albédo (forêt). En hiver, les arbres favorisent l'accumulation de la neige qui limite de ce fait la pénétration du gel, et peuvent subsister grâce à elle ;

- une **pédofaune** (insectes et larves : collembolles, acariens, oribates, diptères, coléoptères ; nématodes ; très peu d'annélides : enchytréides surtout et deux vers anéciques) dont l'activité est contrôlée par le régime hydrique et les températures estivales.

## Mécanismes

Tous les mécanismes présentés ci-dessous sont en relation directe avec la formation de glace de ségrégation.

### La cryoturbation

Elle résulte du gonflement différentiel au gel de sédiments adjacents ou superposés, en relation avec l'état hydrique lors de l'engel automnal. La **gélivité** des sédiments est en relation, d'une part, avec leur composition granulométrique et minéralogique ou organique et, d'autre part, avec leur porosité. Le **gonflement au gel** est en relation avec le gradient thermique et l'alimentation en eau.

*Remarque* : d'autres mécanismes peuvent également induire un gonflement différentiel et une morphologie voisine : gonflement lié aux sels, gonflement différentiel de matériaux en relation avec leur composition minéralogique ou organique.

Les déformations sont à mettre en relation avec :

- le **contraste de gélivité** : les déformations acquises sont d'autant plus importantes que le contraste entre les sédiments est plus grand ; notons que toutes conditions étant égales, une différence de teneur en argiles ou en matières organiques de 0,5 % entre 2 couches est amplement suffisante pour que ce processus démarre. Il en est de même pour tout contact de matériaux différents tels que le colmatage de fentes ou le contenu de glosses. Un contact abrupt ondulant entre horizons peut permettre l'amorce du phénomène ;

- le **gradient de gélivité** indique le sens du contraste : celui-ci est positif lorsque le matériel supérieur est le plus gélif ; dans le cas contraire, il est négatif. Il peut être acquis par pédogenèse (cas des PODZOSOLS et LUVISOLS) par accumulation de fractions limoneuses ou colloïdales (minérales ou organiques).

En milieu engorgé, la surface du sol se rigidifie et le gonflement cryogénique différentiel est obligé de s'exprimer vers le bas. Le matériel sous-jacent est comprimé et s'injecte petit à petit à la base des fentes de retrait. C'est un processus lent. A partir de cette figure de base, le gradient de gélivité va s'exprimer : les injections plus gélives que l'encaissant vont atteindre progressivement la surface et former un type particulier d'ostiole de toundra (plage gélive encadrée par un substrat moins gélif). Les injections moins gélives que l'encaissant ne peuvent atteindre la surface et s'accumulent à faible profondeur en forme de diapir ou de dôme. A l'inverse, le colmatage de fentes, organique ou minéral, peut exprimer son gonflement vers le bas et former des « gouttes », voire des « poches en chaudron » selon la taille des figures.

Ces déformations se produisent généralement en superposition à un réseau de fentes de retrait (ressuyage, dessiccation ou contraction thermique).

D'une manière générale, le **dégel** est un phénomène très lent et la liquéfaction par thixotropie est un phénomène exceptionnel. En milieu bien drainé, au contraire, le gonflement différentiel s'exprime pleinement et les formes se mettent progressivement en relief (sols à buttes, formes à centres surélevés). Ce phénomène peut également apparaître après un abaissement du niveau de la nappe. Notons que la cryoturbation peut être réactivée dans une formation donnée chaque fois que les conditions thermiques et hydrologiques (remontée de la nappe) sont présentes.

### **Les pipkrakes (ou aiguilles de glace)**

Elles se forment à la surface du sol. Il s'agit d'un type de ségrégation de glace apparaissant lors d'un gel modéré sur sol humide et chaud. C'est la forme de glace la plus fréquente en milieu tempéré de basse altitude comme en milieu tropical et subtropical d'altitude. Dans les autres régions, cette ségrégation se manifeste lors des changements de saison. Ces aiguilles sont très actives à la surface des sols nus ou des ostioles. En soulevant et déchirant la croûte cryptogamique ou la strate herbacée, en soulevant de petites mottes de terre, elles s'avèrent être un facteur très important de préparation des sols à l'érosion. Leur action couplée à celle de l'éluviation en période de fonte sensibilise les sols ainsi dénudés à la battance, induisant une liquéfaction superficielle, ou encore à la déflation. Sur pente, la déformation plastique des aiguilles de glace ou leur sublimation provoque une migration particulière superficielle très importante, susceptible d'être retouchée par la solifluxion, la battance ou la déflation.

### **La solifluxion**

Sur pente, le matériel, soulevé orthogonalement à sa surface par le gonflement cryogénique, glisse ou flue plan par plan au moment du dégel, au fur et à mesure de la fonte des lentilles de glace (régime d'écoulement laminaire). Le déplacement sera d'autant plus rapide que l'apport latéral d'eau sera plus



important (fonte de névé, drainage oblique) et permettra la lubrification du matériau au plan de fonte. Les déformations obtenues sont d'intensité décroissante vers la profondeur. Différents types de déplacement peuvent être qualifiés par leur intensité et leur signature macro- et microstructurale :

#### **régime d'écoulement laminaire**

- **cryoreptation** : moins de 1cm /cycle de gel-dégel ; structure lamellaire parallèle à la pente et/ou blocs et pierres coiffés de limons allongés à plat dans le sens de la pente, souvent en position relevante ;

- **cryoreptation accélérée** (bas de pente) : de 2 à 5 cm /cycle : mêmes caractéristiques que la cryoreptation ; certains lits peuvent présenter une structuration grenue.

#### **régime d'écoulement (micro-) turbulent**

- **gélifluxion** : plus de 10 cm/cycle : structuration granulaire, pierres coiffées sur toutes leurs faces ; blocs généralement allongés dans le sens de la pente ;

- **coulée boueuse** : plus de 100 cm/cycle : à structure massive, compacte à sec, thixotropique, non entravée par la végétation, position des éléments grossiers aléatoire sur forme active, les gros éléments étant généralement allongés dans le sens de la pente. Peut être retouchée *a posteriori* par les autres mécanismes.

#### *Remarque :*

L'orientation des éléments grossiers est la résultante de l'expulsion cryogénique et de la solifluxion : elle peut donc varier selon le contexte microclimatique local. En bordure de structure lobée, l'orientation des éléments grossiers peut être légèrement plongeante vers le centre de la forme.

Les cryoturbations sur pente obéissent aux mêmes lois qu'en milieu sub-horizontale, mais il faut leur adjoindre une composante de déformation liée à la cryoreptation.

### **Le thermokarst**

La morphologie de surface des CRYOSOLS est surtout en relation avec leur régime thermohydrigue. Toute modification, même temporaire des conditions climatiques peut changer leur fonctionnement : abaissement de la nappe, enfoncement du sommet du pergélisol, et faire naître des affaissements, voire des effondrements liés à la disparition de la glace, en d'autres termes un modelé thermokarstique. Une sursaturation temporaire des sols peut faire apparaître localement des phénomènes de « *load cast* » (déformations par différence de densité en milieu saturé par l'eau) ou de liquéfaction. Ce modelé peut évoluer de manière régressive en bordure de versant et continuer à évoluer même si les conditions climatiques originales sont restaurées (thermokarst régressif). C'est un des processus de remaniement important des solums, provoquant leur rajeunissement.

## Qualificatifs utiles - Codification des horizons

Les CRYOSOLS ne se développent que dans des contextes climatiques à saison végétative peu favorable au développement d'une strate végétale continue, et où un pergélisol est susceptible d'exister.

Dans les autres cas (par exemple : milieu bien drainé, non cryoturbé ; couverture végétale continue sans pergélisol ; morphologie périglaciaire héritée), on effectuera le rattachement à une Référence, puis on y ajoutera, si besoin est, les qualificatifs « à pergélisol », « cryoturbé » ou encore « soliflué ».

Un horizon gelé sera noté -\*

S'il contient de gros massifs de glace, il sera qualifié de **glacique**.

S'il est déformé par la cryoturbation, il sera qualifié de **cryoturbé** et sera noté **-cr**.

Une accumulation limoneuse sera signalée par l'emploi du qualificatif « **limono-illuvial** ». Une telle accumulation pourra, comme certains horizons superficiels, former un horizon massif à macroporosité « vésiculaire » ou parfois présenter des caractères de fragipan de type périglaciaire (notation -x) : horizon dense, à structure lamellaire. Dans ce cas, l'occurrence de cet horizon est significatif d'un approfondissement récent de la couche active.

La croûte cryptogamique sera notée OL.

## 2 Références

La caractéristique essentielle des CRYOSOLS est la prédominance des processus mécaniques (cryoturbation, solifluxion, illuviation) dérivés des alternances gel/dégel sur les processus d'altération biogéochimiques limités par un pédoclimat froid. Le développement des horizons est très lent à cause de la brièveté de la saison biologique et contrecarré par les processus cryogéniques. En outre, ceux-ci sont responsables d'une véritable « marquetterie » de solums organisée selon différents systèmes géomorpho-pédologiques (cf. infra).

### CRYOSOLS HISTIQUES

Présence d'un pergélisol à moins de 2 m de profondeur. Deux possibilités :

- s'il existe à moins de 30 cm de profondeur une couche R ou une couche de glace de plus de 30 cm d'épaisseur, les horizons H devront avoir plus de 10 cm d'épaisseur ;

- dans les autres cas, les horizons H ont une épaisseur supérieure à 40 cm. Pas d'autres horizons A, E, S ou B. Les systèmes morpho-pédologiques associés aux CRYOSOLS HISTIQUES sont le plus fréquemment les paises, les plateaux tourbeux et les thufurs, les macropolygones de toundra à centre déprimé et le colmatage des fossés de macropolygones à centre surélevé. Un cas particulier existe dans les sites de nidification d'oiseaux (pied de falaise, îlot) : tourbières nitrophiles bombées.

**Qualificatifs utiles**

<b>fibrique, mésique, saprique</b>	présence d'un horizon Hf, Hm ou Hs dominant ;
<b>lithiques</b>	il existe une couche R, située entre 10 et 50 cm de profondeur ;
<b>glacique</b>	il existe une couche de glace de plus de 30 cm d'épaisseur dont le toit se trouve à moins de 1 m de la surface.

En l'absence d'un pergélisol et même en présence d'une microtopographie héritée, le rattachement s'effectuera dans le cadre des HISTOSOLS (cas des tourbières subarctiques ou de montagne) ou par double rattachement. Le resuyage estival d'une tourbière soulevée par la croissance d'un palse peut entraîner une humification un peu plus poussée des 10 premiers cm du solum.

**CRYOSOLS MINÉRAUX**

Ce sont des CRYOSOLS ne présentant pas un horizon holorganique continu et épais de plus de 40 cm, et généralement cryoturbés.

Un pergélisol existe à moins de 2 m de profondeur. La plupart des horizons sont affectés sur plus de 10 cm de profondeur par la cryoturbation. L'horizonation est souvent continue ou involuée en milieu bien drainé ; elle est souvent complètement perturbée par cryoturbation en milieu engorgé. Les horizons H, s'ils existent, sont toujours cryoturbés et font moins de 40 cm d'épaisseur. Un horizon Jp est possible mais discontinu ou cryoturbé. Des horizons éluviaux E et « limono-illuviaux » peuvent être épais et contribuent à la constitution du gradient de gélivité, donc à la cryoturbation. Ces CRYOSOLS se forment sur substrats hétérogènes peu filtrants tels que limons stratifiés, loess, substrats gélivés de toutes natures ou paléosols mûrs.

**Qualificatifs utiles**

<b>pénévolué</b>	on peut distinguer clairement soit une horizonation peu perturbée par la cryoturbation, soit une horizonation recoupant des traits cryoturbés inactivés temporairement (abaissement du niveau de la nappe), avec un horizon Jp < 10 cm (absence d'activité biologique) ;
<b>régosolique</b>	on passe directement de l'horizon H à des horizons C ou des couches M cryoturbés ; H peut être totalement absent ;
<b>engorgé</b>	a nappe est peu profonde et la remontée capillaire atteint la surface ;
<b>rédoxique, réductique, ...</b>	

## Cas complexes

**Substrat très filtrant** (till, glacio-marin, fluvio-glaciaire et terrasses alluviales) :

- **solums non différenciés** où la gélifraction n'a pas encore été efficace et n'a pas permis la constitution d'un gradient de gélivité (pas de cryoturbation) : le rattachement se fera dans le cadre des RÉGOSOLS à ou sans pergélisol ;

- **solums différenciés** :

- la constitution d'un gradient de gélivité simple et contrasté (par exemple, horizon E/horizon limono-illuvial) permet l'expression de la cryoturbation et le rattachement aux CRYOSOLS MINÉRAUX ;

- dans le cas d'un gradient de gélivité modéré résultant d'un autre type d'horizonation, on pratiquera un double rattachement (exemples : CRYOSOL-PODZOSOL ou LUVISOL-CRYOSOL) ;

- dans le cas d'une horizonation ne créant pas de gradient de gélivité, le solum sera rattaché à une Référence telle que RÉDOXISOL, GYPSOSOL, on peut aussi utiliser le double rattachement (ex. : CRYOSOL-RÉDOXISOL).

**Substrat fin homogène** : en raison de l'absence de gradient de gélivité marqué et

**Cryoturbations héritées** (festons, fentes en coin) : dans ces 2 cas, le solum sera rattaché à la Référence correspondant à la morphologie et au fonctionnement actuel (exemples : BRUNISOL DÉSATURÉ arctique ; CALCOSOL cryoturbé, leptique).

## Systèmes géomorpho-pédologiques

Les couvertures pédologiques des régions où l'on observe des CRYOSOLS sont organisées de manière très complexe et de telle façon que des solums très différents peuvent être observés à quelques mètres de distance. Tout un vocabulaire spécifique est nécessaire afin de décrire l'organisation spatiale des couvertures pédologiques.

D'autre part, Sibérie exceptée, les CRYOSOLS sont généralement des sols jeunes, de l'Holocène moyen ou final. De plus, les modifications climatiques récentes (400-100 ans) et très récentes (depuis 1947 et surtout 1970 en arctique européen) perturbent ces milieux très sensibles. L'hémisphère nord est en cours de refroidissement depuis 4 500 ans et les sols ne se constituent qu'avec beaucoup de difficulté, dix fois plus lentement en milieu subarctique que pour les homologues alpins. Les refroidissements du « petit âge glaciaire » notamment ont fait évoluer des PODZOSOLS boréaux ou subarctiques en CRYOSOLS. La destruction de la végétation par l'homme (déforestation, surpâturage) a réactivé des cryosols fossiles à des altitudes moyennes (Causses, Massif central, Irlande du Nord, etc.) et donc perturbé une horizonation acquise pendant l'Holocène.

## Systèmes tourbeux

Systèmes géomorpho-pédologiques de dépression dans lesquels les solums ne sont pas nécessairement des CRYOSOLS HISTIQUES :

- **palse** (1 à 7 m de hauteur,  $\varnothing < 100$  m) et **plateau tourbeux** ( $\varnothing > 100$  m) correspondent à des îlots de pergélisol riche en glace au milieu de tourbières (pergélisol sporadique ou discontinu de fond de vallée ou de dépression). Ils peuvent être affectés par des macropolygones (plateau). Il existe aussi des palse minérales ou mixtes. Après dégradation du pergélisol, une morphologie de dépression circulaire à bordure surélevée peut subsister (Hautes Fagnes, Pays de Galles) ;

- les **thufurs** sont des buttes décimétriques à métriques, holorganiques ou mixtes, à répartition généralement aléatoire, se formant souvent en bordure de tourbières, dans les plaines de débordement ou en milieu mal drainé. De la glace de ségrégation peut y subsister tardivement jusqu'en été. Il s'agit d'une construction dominée par la croissance végétale (mise « hors d'eau »), complétée par des apports sédimentaires et les processus cryogéniques. Ils ne correspondent pas aux CRYOSOLS en dehors de la zone d'extension actuelle du pergélisol. A ne pas confondre avec les méso- et micropolygones à centre surélevé qui peuvent cependant servir de formes initiales à la constitution de thufurs.

## Systèmes réorganisés

Systèmes géomorpho-pédologiques typiques des CRYOSOLS MINÉRAUX.

### Système polygonal :

- **macropolygones** : maille décamétrique = grands polygones de toundra (contraction thermique), souvent formés à l'aplomb d'un coin de glace (fente en coin) en milieu mal drainé ou d'un colmatage de fentes en milieu bien drainé ;

- **mésopolygones** : maille métrique = sols polygonaux (contractions thermiques et/ou dessiccation) ;

- **micropolygones** : maille décimétrique ou cellules (dessiccation) ;

- **système aléatoire** : ostioles et cercles ( $\varnothing > 10$  cm) ; nubbin ( $\varnothing < 10$  cm).

### Tri :

- non trié = pas d'organisation visible autre que le réseau de fentes ; peut être déformé par la solifluxion : polygones et cercles

- trié = polygones : bordure de cailloux plus ou moins granoclassés cryoexpulsés sur fentes → méso- et macropolygones cryoexpulsés et flués → micropolygones

- trié = cercles : contigus → voir mésopolygones triés coalescents → repousse les cailloux superficiels

**Ostioles** (flaques de boue) :

- résiduelles au centre d'un polygone trié (habituellement non mentionnées comme telles),
- d'injection, à l'aplomb d'un noeud de polygones,
- d'injection aléatoire (cercle trié).

*Remarques :*

- les formes métriques et décimétriques peuvent être appelées « sols à buttes » ou « hummocks » dans la littérature ;
- les macropolygones, correspondant aux coins de glace, sont qualifiés de concave et de convexe ; leur expression morphologique est contrôlée à la fois par le régime hydrique et les phénomènes thermokarstiques.

**Formes de solifluxion*****Pente et formes de solifluxion***

La pédogenèse est généralement synchrone de la forme.

- **Solifluxion laminaire** : mouvement extensif et homogène du sol, sur tout un versant, associé à la cryoreptation. Correspond en général à un versant mal drainé, souvent surmonté d'une congère, et à une microtopographie lisse, zones triées exceptées. Responsable de stratification visible en coupe par étirement des couches et autres structures. A la solifluxion peuvent s'ajouter des réorganisations de type « cryosols ».

- **sols striés** : réseaux polygonaux métriques à décimétriques évoluant par étirement (cryoreptation) pour former des stries parallèles ou anastomosées, souvent retouchées par le ruissellement ;

- **sols microstriés** : figures larges de < 10 cm, formant un faisceau parallèle à anastomosé de buttes et sillons, souvent en relation avec un réseau de dessiccation et avec le ruissellement.

- **Solifluxion en banquette** : mouvement lent du sol, par cryoreptation, légèrement plus rapide que son environnement voisin, caractérisé par un front raide (—> 60°) ou multilobé, de hauteur allant de 5 cm à 1 m maximum (Alpes) à 6 m maximum (Alaska, Spitzberg), par une élongation allant de 2 à 30 m (Alpes) jusqu'à 1200 m maximum (Alaska), apparaissant généralement sur pente modérée (entre 5° et 15°), mais pouvant apparaître sur pente plus forte (30°). La morphologie du front sera armée soit par une accumulation frontale raide ou en bourrelet de blocs et de graviers, pouvant constituer un dallage sous le lobe, soit par une végétation dont le mat racinaire assure le maintien de la forme, soit enfin une forme mixte. Leur superposition et leur étirement entraîne la formation d'une stratification visible en coupe.

*Remarque* : selon les définitions requises, des lobes totalement végétalisés sans pergélisol seront exclus des CRYOSOLS (cf. « coulées » des Alpes).

Cette forme de solifluxion peut être exprimée sous la forme :

- de lobes isolés (front : 0,3 à 1,5 m), dont longueur  $\gg$  largeur, liée à la cryoreptation accélérée ou à la gélifluxion (pente forte et/ou suralimentation hydrique) ;
- de lobes imbriqués (longueur  $>$  largeur ; longueur = 1 à 10 m) (cryoreptation, drainage médiocre à modéré), pouvant dériver de cercles triés ;
- de **terrassettes** (longueur  $<$  largeur ; longueur = 0,3 à 1 m) (cryoreptation sur pente forte, bien drainée).

Ces formes peuvent être retouchées en « systèmes réorganisés ».

### **Coulées boueuses**

Flux de terre dont la longueur est très supérieure à la largeur. Elles caractérisent des zones de suralimentation hydrique et d'instabilité du matériau avec dépassement du seuil de liquidité. Ce sont des épanchements très plats, parfois bordés de bourrelets.

Leur dynamique n'est pas nécessairement cryogénique. La couverture végétale, si elle pré-existe, est déchirée. Une coulée peut être retouchée *a posteriori* par d'autres figures cryogéniques. La pédogenèse est obligatoirement postérieure à la coulée boueuse.

# FERSIALSOLS

L.M. Bresson

## Pédogenèse

La pédogenèse fersiallitique est associée à une altération de type bisiallitique : l'hydrolyse ménagée provoque une nette argilification, non seulement par héritage (bisiallisation apparente) mais aussi par agradation et néosynthèse (bisiallisation vraie). Cette altération s'accompagne d'une forte libération du fer, lequel contracte généralement avec les minéraux argileux des liaisons étroites. Des phénomènes de redistribution mécanique de l'argile associée au fer peuvent intervenir.

Il en résulte des sols évolués et différenciés, qui sont caractérisés par une structure anguleuse et stable, et par des couleurs vives rouges.

La pédogenèse fersiallitique est associée le plus souvent au milieu subtropical à saison sèche chaude (climat méditerranéen) et au milieu tropical où le drainage climatique profond est nul ou réduit.

La présence d'un horizon fersiallitique (FS) est nécessaire pour le rattachement aux FERSIALSOLS.

## L'horizon fersiallitique (FS)

L'horizon FS présente tous les caractères ci-dessous.

## Constituants

L'altération fersiallitique confère à l'horizon FS des constituants qui sont toujours de même nature, mais qui peuvent se trouver en proportions variables selon les roches mères.

Les minéraux argileux 2/1 jouent un rôle important, même s'ils peuvent être présents en proportion faible (autour de 10 %) comme c'est souvent le cas, par exemple, sur les roches basiques non micacées.



La fersiallisation a été souvent caractérisée par un taux élevé de libération du fer (rapport fer libre/fer total  $> 0,50$ ). En réalité, il s'avère que le seuil pertinent dépend très largement de la roche mère : par exemple, sur matériau riche en fer (basaltes, gneiss à amphibole, schistes à chlorite ferrifère, etc.), le rapport fer libre/fer total peut être beaucoup plus faible (environ 0,30).

En revanche, il apparaît plus intéressant de doser le fer « facilement extractible » (FFE), quantifié grâce à une cinétique d'extraction à l'acide chlorhydrique et à la soude (méthode de Ségalen, adaptée par Quantin et Lamouroux). Pour les horizons FS qui ont été soumis à cette analyse, il se dégage un seuil : FFE/fer total  $> 0,20$ . Il reste cependant à mettre au point une méthode plus adaptée, qui ne risque pas de solubiliser le fer inclus dans certains minéraux.

La pertinence du dosage du fer facilement extractible s'explique par le fait que le fer des horizons FS se trouve, au moins en partie, sous la forme de cristallites très fins (3 à 5 nm), généralement d'hématite (détermination par spectrométrie Mössbauer).

L'horizon FS peut être carbonaté ou non. Sur roche calcaire, cependant, il semble que la fersiallisation intervienne après décarbonatation : les carbonates éventuellement présents dans l'horizon FS seraient donc d'origine secondaire (reprécipitation ou colluvionnement).

## Couleur

La couleur de la matrice ou au moins celle des faces d'agrégats est 5 YR avec un *chroma* supérieur à 3,5, ou plus rouge.

## Structure

La structure est polyédrique anguleuse, très fine, fine ou moyenne ; très bien développée et très nette. Elle est extrêmement stable. Elle s'organise souvent en une sur-structure polyédrique anguleuse, cubique ou prismatique, à faces luisantes ; elle se subdivise généralement en une sous-structure millimétrique anguleuse, très typique. Cette structure caractéristique s'estompe souvent dans les horizons sableux, ou en présence de carbonates.

La structure de l'horizon FS n'est jamais micro-agrégée (ni « micro-nodulaire », ni « en pseudo-sables »).

## Microstructure

L'assemblage textural (distribution relative du plasma et du squelette) est généralement porphyrique ; dans le cas des textures sableuses il est chitonique (intertextique). Le motif de biréfringence (assemblage plasmique) est généralement à striation réticulée (lattisépique).

A l'échelle ultra-microscopique, la micromasse (plasma) est organisée en microdomaines orientés ; les oxyhydroxydes de fer, sous la forme de nanoparticules de 3 à 5 nm de diamètre, n'apparaissent pas étroitement associés aux minéraux argileux, mais sont groupés en amas isolés dans la masse argileuse.

### Traits pédologiques

L'illuviation d'argile s'observe souvent dans l'horizon FS (horizon FSt), mais les traits texturaux (revêtements argileux ou argilanes) peuvent être invisibles sur le terrain parce qu'intégrés à la masse basale (matrice).

Souvent, sur matériau parental carbonaté, ce sont ces revêtements qui donnent à l'horizon sa couleur rouge, alors que sur roches volcaniques riches en verres c'est la micromasse d'altération (altéro-plasma) qui est rouge.

Typiquement, il n'y a pas de ségrégation du fer et du manganèse, sauf, éventuellement, sous forme de très fins enduits noirs sur les faces des agrégats.

### Autres propriétés

Nettement argilisé et riche en minéraux 2/1, un horizon FS a généralement une capacité d'échange assez élevée et de bonnes capacités de rétention en eau. L'abondance du fer facilement extractible confère généralement à cet horizon une bonne capacité d'échange pour le phosphore.

Un horizon FS peut être carbonaté, calcique ou insaturé.

### Situation

L'horizon FS se situe généralement entre un horizon A et un horizon C, mais il peut se retrouver en surface à la suite de la troncature du solum.

Il se forme typiquement sous climats méditerranéens ou sous climats tropicaux ne permettant pas un drainage climatique profond important. Il est généralement issu d'une longue évolution bien qu'on le rencontre également dans des sols holocènes sur sable dunaire calcaire. Dans les régions tempérées, c'est essentiellement dans des paléosols qu'on peut l'observer (ou des sols polyphasés).

L'horizon FS se développe sur une très large gamme de matériaux géologiques, à l'exception notable des marnes. Les propriétés de la roche-mère se conjuguent avec les caractéristiques du climat pour en expliquer la répartition géographique. Ainsi, dans les régions méditerranéennes, on peut observer cet horizon sous des climats d'autant plus secs que le matériau est filtrant et/ou acide (grès, schistes), et sous des climats d'autant plus humides que le matériau est filtrant et/ou carbonaté. Dans les régions tropicales, sur socle, on

observe l'horizon FS sous des climats d'autant plus humides que la roche présente une composition plus basique ; en revanche, il ne semble pas qu'on puisse en observer sur calcaires.

## Horizons à caractère xanthomorphe (-j)

Sont dits « à caractère xanthomorphe » des horizons qui présentent les caractères suivants :

- des couleurs vives, jaunes (7,5 YR ou plus jaune) dans la matrice et les faces d'agrégats ;
- une structure anguleuse nette, assez fine, à faces luisantes ;
- des redistributions du fer et du manganèse, sous forme de fins enduits noirs brillants sur les faces des agrégats et/ou très petits nodules noirs ;
- un matériau généralement argileux, riche en fer libre.

De tels horizons ressemblent assez à l'horizon FS. Ils s'en distinguent cependant par leur couleur non rouge, parce qu'ils ne présentent pas de sous-structure micro-polyédrique très nette, par les redistributions du fer et du manganèse (enduits et/ou nodules noirs) et par une moindre abondance du fer facilement extractible.

Le caractère « xanthomorphe » peut s'appliquer à différents types d'horizons tels que S, Sci ou BT mais pas à un horizon FS. Ils sont alors codés Sj, Scij ou BTj. Le caractère « xanthomorphe » apparaît fréquemment dans les franges humides des régions méditerranéennes, mais on peut l'observer sous climat tempéré. Dans les milieux méditerranéens, il est souvent associé dans le paysage à l'horizon FS mais il y occupe des situations pédoclimatiquement plus humides. Sous un même climat, on l'observe en position aval (poche karstique, bas de versant). Enfin, dans un même solum, un horizon à caractère xanthomorphe peut coexister avec un horizon FS : il est généralement situé sous ce dernier, au contact avec la roche-mère ou son altérite, où il résulte d'un ralentissement de la circulation de l'eau.

## Solums diagnostiques

Les solums doivent toujours comporter un ou plusieurs horizons FS.

Quatre Références sont distinguées selon la nature de l'horizon FS (carbonaté, calcique, insaturé, ou la présence d'une nette différenciation texturale).

Les différents types se distinguent par la présence ou l'absence d'un autre horizon de référence (O, A, Aca, Ach, K, Kc, Km), par l'apparition de caractères secondaires dans certains horizons (caractère xanthomorphe -j, début d'accumulation de calcaire -k, caractère rédoxique -g, nappes de gravats) et par l'épaisseur totale du solum (caractère leptique).

## 4 Références

### FERRALSOLS CARBONATÉS

- Horizons FS carbonatés (ou recarbonatés) dans la terre fine.
- Solum typique : Aca/FS carbonatés/C ou M ou R.

### FERRALSOLS CALCIQUES

- Horizons FS calciques : pas d'effervescence dans la terre fine, ou seulement localement ; taux de saturation élevé ( $S/T > 80\%$ ), rapport  $Ca^{++}/Mg^{++} > 5$ .
- Pas de différenciation texturale (horizons E et FSt interdits).
- Solum typique : Aci/FS calciques/C ou M ou R.

### FERRALSOLS INSATURÉS

- Horizons FS insaturés (rapport  $S/T < 80\%$ ).
- Pas de différenciation texturale (horizons E et FSt interdits).
- Solum typique : A/FS insaturés/C ou M ou R.

### FERRALSOLS ÉLUVIQUES

- Illuviation d'argile nette (présence d'horizons E et/ou FSt).
- Différenciation texturale notable ( $IDT > 1,3$ ).
- Solum typique : A/E/FSt/C ou M ou R.

## Qualificatifs utiles

<b>xanthomorphe</b>	présence d'un horizon à caractère xanthomorphe (Sj, Scij ou BTj)
<b>leptique</b>	épaisseur de A + FS < 40 cm au-dessus de C ou R
<b>chernique</b>	présence d'un horizon Ach épais de moins de 40 cm
<b>tronqué</b>	horizons de surface A ou A + E tronqués par l'érosion
<b>calcarique</b>	présence d'un FSk et/ou présence de K ou Kc
<b>pétrocalcarique</b>	présence d'un horizon Km
<b>glossique</b>	contact E/FSt glossique
<b>planosolique</b>	contact E/FSt planique
<b>rédoxique</b>	présence d'un horizon Eg et/ou FSg
<b>à nappe de gravats</b>	
<b>ruptique</b>	à horizon interrompu latéralement, à échelle métrique
<b>resaturé, fertilisé, cultivé, etc.</b>	
<b>calcimagnésique, magnésique, etc.</b>	

---

Texte rédigé par L.-M. Bresson, en collaboration avec H. Arnal, D. Baize, M. Bornand, G. Bourgeon, B. Kaloga, R. Lahmar, M. Lamouroux, P. Quantin et W. Verheye, sans oublier M. Bertoldo de Oliveira, T. Gallali, A. Gaouar, B. Houmane et J. Vaudour.



# FLUVIOSOLS ET THALASSOSOLS

J. Chrétien et D. Baize

## LES SOLS ALLUVIAUX FLUVIATILES : FLUVIOSOLS

Ils méritent d'être distingués des autres types de sols non ou peu évolués pour trois raisons principales :

- ils occupent toujours une **position basse** dans les paysages, celle des vallées où ils constituent les lits mineur et majeur des rivières à l'exclusion des zones de terrasses (hors vallées actuelles) ;

- ils sont développés dans des matériaux récents, les **alluvions fluviales**, mis en place par transport puis sédimentation en milieu aqueux. Ces alluvions peuvent être relativement homogènes ou présenter une grande hétérogénéité minéralogique et granulométrique qui reflète la diversité des matériaux géologiques et pédologiques situés en amont du bassin versant. Par rapport aux matériaux de l'amont, un tri a cependant été effectué au profit des minéraux les plus résistants et les plus lourds, en fonction également de leur granulométrie ;

- ils sont marqués par la présence d'une **nappe alluviale** permanente ou temporaire à fortes oscillations et ils sont **inondables** en période de crue.

Les mêmes justifications autorisent à qualifier de « fluviques » d'autres Références telles que BRUNISOLS, CALCOSOLS, CALCISOLS, ARÉNOSOLS, etc., qui répondraient aux trois conditions ci-dessus.

L'utilisation de l'ensemble cognat [FLUVIOSOLS + tous types « fluviques »] permet de faire bien ressortir les grands traits du paysage dans un document cartographique.

### Caractéristiques principales

#### Matériau

Souvent, il s'agit d'un matériau relativement fin (argile, limons, sables, gravillons) reposant sur un matériau grossier (la « grève » alluviale) dans lequel circule une nappe phréatique.

Le matériau a été transporté sur de longues distances (ce qui oppose sols alluviaux fluviaux et sols colluviaux). Sa granulométrie peut être homogène ou, au contraire, très hétérogène sur l'ensemble du solum. Une stratification peut exister mais n'est pas générale. Des apports solides sont toujours possibles lors de grandes crues.

La présence d'horizons pédologiques enfouis, minéraux ou plus ou moins humifères, n'est pas rare.

### **Evolution pédologique**

Elle est nulle ou faible. Elle peut se traduire par de faibles altérations et redistributions de fer, de  $\text{CaCO}_3$ , de sels, etc. Des traits d'illuviation d'argile peuvent quelquefois être observés mais n'occasionnent aucune différenciation texturale.

### **Caractères hydromorphes**

De nombreux FLUVIOSOLS, mais pas tous, connaissent des engorgements à des degrés divers. On note toujours la présence d'une nappe souterraine plus ou moins profonde selon les cas et selon les saisons. Les effets sur les plantes de ces engorgements, temporaires ou plus permanents, sont atténués du fait que cette nappe est circulante et oxygénée.

### **Horizons de référence**

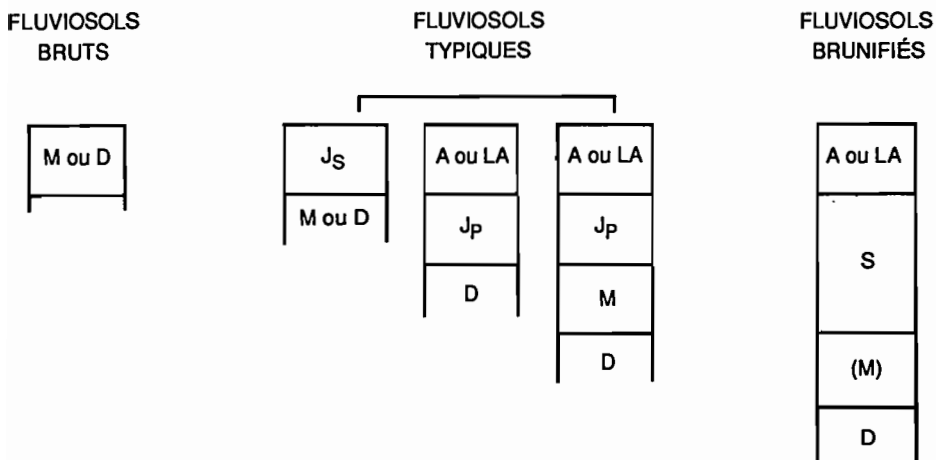
Dans les FLUVIOSOLS, il n'existe pas d'horizons de référence spécifiques mais on peut y reconnaître :

- des horizons A typiques ou atypiques (horizons Js) ;
- des horizons S assez typiques (FLUVIOSOLS BRUNIFIÉS) ou atypiques (horizons Jp) ;
- des horizons H peu épais (moins de 40 cm d'épaisseur si situés en surface) ;
- des horizons G, g ou -g mais ceux-ci doivent être situés à plus de 50 cm de profondeur sinon le solum sera rattaché aux RÉDUCTISOLS ou aux RÉDOXISOLS ;
- des couches M et très souvent des couches D (grève alluviale) qui constituent une discontinuité physique et mécanique dans le solum.

En outre, ces horizons peuvent présenter des caractères secondaires tels que : humifère, calcaire, calcique, à accumulation de gypse, etc.

**Exclusions** : la présence d'horizons, E, BT, BP, sodiques, saliques, sulfatés, d'horizons H de plus de 40 cm d'épaisseur si situés en surface ou d'horizons G, g ou -g à moins de 50 cm est interdite dans les FLUVIOSOLS.

## Solums diagnostiques



## Relations avec les GER voisins

Tous les solums développés à partir de matériaux alluviaux fluviatiles mais qui correspondent à d'autres catégories du Référentiel doivent être exclus : ARÉNOSOLS, VERTISOLS, PÉLOSOLS, BRUNISOLS, PLANOSOLS, THIOSOLS, SULFATOSOLS, HISTOSOLS, RÉDUCTISOLS, RÉDOXISOLS, SALISOLS, SODISOLS, etc. Mais on devra leur conférer le qualificatif « fluviatique ».

## Propriétés et utilisations (à l'exclusion des FLUVIOSOLS BRUTS)

- présence fréquente d'un micro-relief avec zones basses, bras morts, dépressions et aussi bosses et levées ;
- matériaux de granulométrie constante ou, au contraire, très variée. Dans ce cas, les plus proches de la rivière sont sableux alors que les plus lointains sont souvent nettement argileux ;
- en général, présence d'une nappe permanente assurant la possibilité d'irrigation par pompage ;
- zones les plus hydromorphes situées le plus souvent loin de la rivière en position de pied de terrasse ou de versant. Un drainage par réseau de fossés facilite l'évacuation des crues.

### Utilisations agricoles en zones tempérées

- vocation herbagère la plus fréquente ;
- mise en culture possible, en particulier en cultures tardives de printemps (maïs) en raison des risques d'inondation hivernale ;
- peupleraies.



**Utilisations agricoles en zones sèches et arides**

- cultures intensives avec irrigation.

**Utilisations non agricoles**

- zones inaptes à la construction et à l'urbanisation en raison des risques d'inondation ;
- exploitation fréquente pour l'extraction de granulats (gravières) destinés au génie civil.

**3 Références****FLUVIOSOLS BRUTS**

Matériaux d'apport fluviaux en général grossiers (sables et cailloux) à l'état brut (ou presque) inclus dans le lit mineur des rivières (bancs, îlots temporaires, berges...). Ils sont souvent mal stabilisés et toujours recouverts en période de hautes eaux.

La couche la plus superficielle peut contenir des traces de matière organique mais il n'existe pas de véritable horizon pédologique.

Solum diagnostique : couches M ou D

Les FLUVIOSOLS BRUTS peuvent supporter une végétation arbustive caractéristique (saulaie, aulnaie...). Ils peuvent constituer des zones de ressources en granulats destinés au génie civil que l'on extrait par dragage.

**FLUVIOSOLS TYPIQUES**

Développés dans des matériaux d'apport fluviaux récents qui occupent le lit majeur des rivières, ils sont soumis aux inondations en période de crues au cours desquelles la sédimentation se poursuit encore actuellement. Faute de temps, la pédogenèse n'a pas encore pu se manifester. Il s'agit donc de sols peu évolués et peu différenciés sans véritable horizon S.

Les FLUVIOSOLS TYPIQUES correspondent à trois solums diagnostiques :

1. Js/M ou D : solums peu épais (moins de 30 cm), peu évolués où l'horizon Js repose directement sur la couche M ou D (grève alluviale). Ils ne présentent pas d'horizon Jp. Ils peuvent contenir une forte proportion de matériaux grossiers issus de la couche D.

Ces solums sont plus fréquents et de granulométrie plus grossière en secteur amont du profil en long des vallées que dans la zone aval.

2. A ou LA/Jp/D : solums moyennement épais (30 à 80 cm) comprenant un horizon A typique et un horizon « jeune » de profondeur (Jp) reposant directement sur la couche D par une transition parfois progressive mais le plus souvent par un contact abrupt et ondulé ;

3. A ou LA/Jp/M/D : sols épais (> 80 cm) où l'horizon Jp surmonte une couche M plus ou moins épaisse constituée d'un matériau d'apport alluvial de granulométrie variable mais fine. Cette couche M repose sur une couche D située le plus souvent à plus d'un mètre de profondeur.

Ces deux derniers solums sont plus fréquents et de granulométrie plus fine dans la zone aval des rivières que dans le secteur amont.

Les propriétés des FLUVIOSOLS TYPIQUES sont celles des FLUVIOSOLS en général. Toutefois, il convient d'ajouter deux remarques :

- leurs potentialités agronomiques vont en croissant du solum 1 vers le solum 3, notamment en raison des possibilités plus favorables de réserve en eau et d'enracinement des plantes, à condition cependant que celles-ci ne soient pas entravées par des phénomènes d'engorgement plus fréquents dans le solum 3 ;

- inversement, leur aptitude à l'exploitation des granulats se cantonne de façon préférentielle aux solums 1 et 2, en raison de la moindre épaisseur de terre meuble à décaper lors de l'extraction.

#### FLUVIOSOLS BRUNIFIÉS

Développés dans des matériaux d'apport fluviaux récents, ils occupent le lit majeur des rivières et sont soumis aux inondations au cours desquelles une sédimentation fine se produit encore actuellement. Ils sont souvent argileux ou argilo-limoneux, riches en matière organique et présentent l'aspect des sols brunifiés à horizon S bien exprimé.

En fait, ce sont des sols jeunes, formés dans des dépôts récents qui proviennent vraisemblablement de matériaux pédologiques préalablement évolués et progressivement érodés en amont du bassin versant.

Solum diagnostique : A ou LA/S/D  
ou A ou LA/S/M/D

Solums profonds (1 m ou plus) possédant en dessous de l'horizon A un horizon bien structuré, biologiquement actif, bien pourvu en matière organique (le taux de carbone peut être supérieur à 2 %) ayant tout à fait les caractères d'un horizon S typique. Cet horizon recouvre, une couche M qui peut être épaisse ou repose directement sur une couche D (grève alluviale).

Ces solums sont les plus fréquents dans les grandes vallées alluviales en zone médiane et aval du profil en long des rivières. Ils peuvent présenter des caractères d'engorgement plus ou moins accentués mais ceux-ci sont souvent atténués par le fait que la nappe alluviale et les eaux d'inondation sont circulantes et oxygénées.

Les propriétés des FLUVIOSOLS BRUNIFIÉS sont celles des FLUVIOSOLS en général. Il faut ajouter toutefois que :

- leurs potentialités agronomiques sont toujours très élevées ;
- bien que souvent lourds et difficiles à travailler, ils sont de plus en plus mis en culture sauf pour les types rédoxiques et réductiques ;

- il font rarement l'objet d'exploitation de granulats, la grève alluviale apparaissant à trop grande profondeur.

## **LES SOLS ALLUVIAUX MARINS ET FLUVIO-MARINS : THALASSOSOLS**

### **Définition**

Solums développés dans des formations d'apports marins ou fluvio-marins, situés à des altitudes voisines de celles de la mer (négatives ou positives), peu différenciés, non décarbonatés entièrement (s'ils étaient carbonatés à l'origine), non brunifiés.

### **Caractères généraux**

#### **Paysages**

Plaines littorales des côtes basses. En France, le long de la Manche (Wateringues, baie du Mont-Saint-Michel), de l'océan Atlantique (marais poitevin, marais de Rochefort, de Bourgneuf, de Guérande, rives de la Gironde, Iles de Ré et de Noirmoutier) et de la Méditerranée (étangs du Languedoc et du Roussillon) ; Pays-Bas, Allemagne du Nord, etc.

#### **Matériaux**

Ils sont en général très fins (80 à 90 % de particules < 50  $\mu\text{m}$ ), constitués par des alluvions marines ou fluvio-marines (estuariens, deltas). Ces matériaux sont particuliers en ce sens qu'ils reflètent, à long terme, les cycles de sédimentation (périodes de transgressions alternant avec des phases de régressions marines).

#### **Régimes hydrique et physico-chimique**

En état naturel, ces terrains subissent l'influence d'une nappe phréatique proche de la surface, dont les fluctuations sont liées aux rythmes des marées. Parfois il y a même invasion par la mer aux périodes de grandes marées ou durant les tempêtes. Ces eaux de nappes sont plus ou moins salées. Les sédiments eux-mêmes contiennent des sels, du gypse, du  $\text{CaCO}_3$ .

#### **Action de l'Homme (poldérisation)**

A partir du moment où ces matériaux sont endigués, la mise en valeur par l'Homme peut débuter : mise à l'abri de la submersion par les eaux de la

mer ; évacuation par gravité ou pompage des eaux en excès par des réseaux de canaux, de fossés et de drains ; contrôle du niveau de la nappe ; irrigation par des eaux douces ; mise en prairies, voire, dans un second temps, mise en culture ; fertilisation ; gypsage ; amendements calcaires ou organiques... Dans ces conditions artificielles, un sol salé peut se voir dessaler par les pluies en quelques années avec tout ce que cela peut entraîner au plan agronomique et particulièrement en ce qui concerne la structure.

## Horizons de référence

Seuls peuvent être présents les horizons H, A (ou LA), Js, Jp, G, -g, C et Yp. Les horizons de référence E, BT, BP, salique, sodique, S, Sci, Sca sont interdits ainsi que le matériau thionique, l'horizon sulfaté et l'horizon Y de surface.

Les solums qui, à l'état naturel, possèdent les caractères de paysage, matériaux, régimes hydriques et physico-chimiques décrits plus haut seront rattachés prioritairement aux SALISOLS ou SODISOLS s'ils présentent un horizon salique ou un horizon sodique ; ils seront rattachés prioritairement aux RÉDUCTISOLS ou RÉDOXISOLS si un horizon G, g ou -g apparaît à moins de 50 cm de profondeur.

Donc, seuls des solums suffisamment dessalés et situés dans des sites endigués, drainés ou assainis, seront rattachés à la Référence des THALASSOSOLS.

## QUALIFICATIFS UTILES POUR LES FLUVIOSOLS ET THALASSOSOLS

**calcaire, calcique, saturé, subsaturé, etc.**

<b>rédoxique</b>	horizons g ou -g débutant entre 50 et 80 cm de profondeur
<b>réductique</b>	horizon G débutant entre 50 et 80 cm de profondeur
<b>à horizon rédoxique de profondeur</b>	horizons g ou -g débutant entre 80 et 120 cm
<b>à horizon réductique de profondeur</b>	horizon G débutant entre 80 et 120 cm
<b>à deux nappes</b>	nappe perchée + nappe phréatique
<b>à horizon gypseux</b>	horizon Yp de profondeur
<b>humifère</b>	dont l'horizon de surface est humifère
<b>histique</b>	horizon H en surface
<b>vertique</b>	à caractères vertiques
<b>alluvio-colluvial</b>	une partie des matériaux est d'origine colluviale, part relative des apports alluviaux et colluviaux non identifiée.



# GRISOLS

D. Baize

## Généralités

Solums de couleur foncée avec une teneur élevée en matières organiques en surface et qui diminue lentement et progressivement vers la profondeur (épisolum à caractère clinohumique). Ces matières organiques sont très liées à la matière minérale.

Le complexe adsorbant est en général mésosaturé ou subsaturé par le calcium dans tous les horizons (S/T compris entre 50 et 95 %) d'où un  $\text{pH}_{\text{eau}}$  faiblement acide (compris entre 5,5 et 6,5). En cas de matériau originel contenant des carbonates, la décarbonatation est totale sur une épaisseur supérieure à 100 cm.

Ces sols se forment dans des zones à climats tempérés continentaux, intermédiaires entre la zone des forêts feuillues et celle de la steppe, mais des changements climatiques notables ont pu intervenir depuis les dernières glaciations.

L'activité biologique (ancienne ou actuelle) est forte et peut se marquer par des coprolithes (dans les horizons supérieurs), de nombreux tubules et chambres biologiques et par des crotovinas de grandes dimensions en profondeur.

A la différence des CHERNOSOLS, l'altération géochimique des minéraux primaires est assez forte : altération *in situ* dans les horizons BTh et BT et « dégradation » en cours à la surface des agrégats dans l'horizon BThd.

Ces solums correspondent aux « Greyzems » de la Légende FAO, aux « sols gris forestiers » des classifications russes et bulgares et à certains des sols « cenusiu » de la classification roumaine.

## Horizons de référence

Les horizons obligatoires sont l'horizon sombrique Ahs et au moins l'un des deux horizons suivants : Eh ou BThd.

Les solums diagnostiques sont (sous végétation permanente) :

Ahs/Eh/BTh

Ahs/Eh/BThd

Ahs/BThd

Des horizons BT sont possibles, mais toujours situés sous l'horizon BTh ou BThd.

### L'horizon sombrique Ahs

Il est assez peu épais (moins de 30 cm) et présente tous les caractères ci-dessous :

- horizon biomacrostructuré, très riche en matières organiques, d'où
- couleur noire ou sombre à l'état humide (*value* < 4,5 et *chroma* < 4 mais 4/3 exclue) ;
- structure très bien développée et fine (agrégats de la structure ou de la sous-structure < 5 mm) ;
- bonne aération, liée à une grande activité biologique ;
- horizon non calcaire ; sous végétation permanente le  $\text{pH}_{\text{eau}}$  est compris entre 5,5 et 6,5 et le complexe adsorbant est méso-saturé (S/T compris entre 50 et 80 %) principalement par du calcium ;
- la mise en cultures peut modifier assez fortement les propriétés de cet horizon : structure dégradée plus ou moins massive, complexe adsorbant plus ou moins resaturé. La couleur demeure cependant sombre ou noire. Notation LAsh ou LAh.

### Les horizons Eh

Encore riches en matières organiques et fortement colorés par elles à l'état humide, ces horizons sont le siège d'une éluviation de complexes argiles-humates de calcium. A l'état sec, ils présentent une couleur grise caractéristique, plus ou moins claire. Le rapport S/T est inférieur à 95 %.

### Les horizons BTh et BThd

- Débutant à faible profondeur (entre 30 et 50 cm), ils présentent :
- de très nombreux revêtements associant des minéraux argileux et des humates de calcium, d'où une couleur noire ou brun-noir ;
  - une structure polyédrique anguleuse fine ;
  - le rapport S/T est inférieur à 95 % ;
  - dans le cas des horizons BThd : des revêtements blancs sur les faces et les arêtes des peds, plus ou moins abondants mais toujours bien visibles à l'œil nu, surtout à l'état sec. Ces « siltanes » ne résultent pas d'apports mais du départ de matières laissant à nu des constituants peu colorés.

## Les horizons BT

Situés sous l'horizon BTh, ils sont caractérisés par d'abondants revêtements argileux bruns et par une structure très bien affirmée, polyédrique anguleuse fine à moyenne. La majeure partie de la fraction argile présente dans cet horizon est héritée du matériau originel ou résulte de l'altération *in situ* des minéraux primaires.

Dans un certain nombre de cas, la formation de ces horizons BT non humifères semble résulter d'une phase pédogénétique ancienne, antérieure à la formation de l'épisolum humifère.

## 3 Références

### GRISOLS ÉLUVIQUES

Le solum est de type :

Ahs/Eh/BTh sous végétation permanente

LAh/Eh/BTh ou LEh/BTh sous cultures.

Le processus d'éluviation des complexes organo-argileux est bien marqué, d'où un IDT supérieur à 1,3. Un horizon Eh est morphologiquement bien visible, caractérisé par une couleur grise beaucoup plus claire que les deux horizons humifères sus- et sous-jacents, par sa texture nettement plus légère que les horizons BTh et BT sous-jacents et par une structure faiblement développée et fragile.

### GRISOLS DÉGRADÉS

Le solum est de type :

Ahs/Eh/BThd sous végétation permanente

LAh/Eh/BThd sous cultures

On observe à la fois un horizon Eh morphologiquement net et un BThd marqué par de nombreuses taches de « dégradation » silteuses. IDT > 1,3.

### GRISOLS HAPLIQUES

Le solum est de type :

Ahs/BThd sous végétation permanente

LAh/BThd sous culture

On ne peut pas observer de véritable horizon Eh. Le deuxième horizon, situé immédiatement sous le Ahs est parfois un peu plus gris mais sa structure demeure polyédrique anguleuse ou sub-angulaire fine et on ne peut pas mettre en évidence de différenciation texturale significative (IDT < 1,3). Ou bien il correspond à la partie supérieure du BThd plus fortement « dégradée » où les « siltanes » blancs sont plus nombreux.

Certains GRISOLS HAPLIQUES observés aujourd'hui sous cultures sont d'anciens GRISOLS DÉGRADÉS partiellement tronqués.



## Qualificatifs utiles

- leptiques** l'épisolum humifère de couleur foncée (ensemble des horizons Ahs, Eh et BTh) est peu épais (moins de 50 cm)
- bathyluviques** présence en profondeur d'horizons BT non humifères
- rédoxiques** un horizon rédoxique débute entre 50 et 80 cm de profondeur
- cultivés, resaturés, etc.**

## Différences avec les Références les plus voisines

### *Différences avec les CHERNOSOLS MÉLANOLUVIQUES et TYPIQUES*

- sous végétation permanente, l'horizon Ahs n'est pas saturé ;
- sous cultures, horizon LAh peu épais ;
- insaturation du complexe adsorbant dans tout le solum ;
- présence d'un horizon Eh (dans le cas des GRISOLS ÉLUVIQUES et DÉGRADÉS) ;
- traits de dégradation sur les faces des agrégats (cas des GRISOLS DÉGRADÉS).

### *Différences avec les PHAEOSOLS*

- présence d'un horizon Eh (dans le cas des GRISOLS ÉLUVIQUES et DÉGRADÉS) ;
- insaturation du complexe adsorbant dans tous les horizons ;
- traits de dégradation sur les faces des agrégats (cas des GRISOLS DÉGRADÉS).

### *Différences avec les NÉOLUVISOLS et LUVISOLS TYPIQUES*

- fortes teneurs en matières organiques et coloration grise ou noirâtre dans les horizons Ahs, Eh et BTh ;
- caractère clinohumique.

### *Différences avec les LUVISOLS MÉLANOLUVIQUES <sup>1</sup>*

- fortes teneurs en matières organiques et coloration grise ou noirâtre dans les horizons Ahs et Eh ;
- caractère clinohumique.

---

1. Cette Référence n'est pas encore définie.

# GYPSOSOLS

M. Pouget

Les « sols gypseux » sont mentionnés en tant que tels dans la plupart des classifications, à différents niveaux et avec une assez grande diversité de termes et de définitions. Les « sols gypseux » (au sens large) sont largement répandus et apparaissent typiques des régions arides et semi-arides (précipitations annuelles < 300-400 mm) : Tunisie, Algérie, Syrie, Irak, sud de l'ex-URSS et de l'Espagne, Texas, Mexique, sud de l'Australie, Namibie, etc.

L'origine du gypse en quantité importante dans les sols est en relation avec la présence de roches sédimentaires gypseuses. Le gypse est dissous, transporté à l'état de solutions dans les nappes et dans les couvertures pédologiques ; il peut être repris sous forme solide et transporté par le vent (lunette en bordure de sebkhas). Dans le sud tunisien, par exemple, le gypse abonde dans les matériaux géologiques, les eaux souterraines et de surface de la région sont fortement chargées en ions  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{SO}_4^{2-}$ , si bien que pratiquement tous les solums présentent des manifestations gypseuses pouvant aller de seulement quelques traces de sulfates dans les solutions du sol jusqu'à de puissantes croûtes polygonées.

Le gypse peut ne pas être perçu à l'examen visuel et être seulement révélé par l'analyse chimique. Un examen microscopique confirme éventuellement sa présence sous forme de très fins cristaux disséminés dans la masse du sol ou localisés dans les pores (solums de texture fine à très fine). Parfois les cristaux de gypse constituent la fraction sableuse associés à quelques grains de quartz, dans les sables des bourrelets éoliens de sebkhas (Afrique du Nord, Mexique, Australie, etc.). Sous cette forme, le gypse peut demeurer peu apparent même avec un pourcentage très élevé (> 50 %). A l'inverse, un encroûtement, même très induré et compact, peut contenir seulement 20 à 30 % de gypse, celui-ci formant le ciment d'un sable siliceux.

La teneur en gypse d'un horizon n'est donc pas en soi le facteur le plus important. En revanche, les notions de gypse secondaire et surtout de formes d'accumulations gypseuses sont fondamentales. Elles déterminent les caractéristiques morphologiques et physiques de l'horizon et peuvent constituer un facteur limitant pour l'agriculture et le développement des plantes.

## Concept central

Les GYPSOSOLS sont des solums à accumulations secondaires de gypse dans les horizons supérieurs. Ils constituent les couvertures pédologiques de très vastes zones, exclusivement en climats arides et semi-arides (précipitations annuelles < 300 mm).

Ils se développent toujours à partir de roches évaporitiques contenant du gypse ou de l'anhydrite : argiles et marnes gypseuses, sables éoliens gypseux, ancien encroûtement gypseux de nappe, alluvions anciennes, etc. Ils se forment à partir de la dissolution et de la redistribution du gypse dans les paysages. L'accumulation n'est pas en relation avec l'influence d'une nappe phréatique comme dans certains solums hydromorphes ou salsodiques à encroûtement gypseux de nappe. L'accumulation gypseuse se situant dans l'horizon de surface, ne peut évidemment être due à une lixiviation des horizons supérieurs telle qu'on peut l'observer dans les « sierozems » ou certains solums à encroûtements gypseux de zones plus humides.

## Horizons de référence des milieux gypseux

### Horizon pétrogypsiq (Ym)

#### *Définition - Caractéristiques majeures :*

horizon de concentration continue (croûte) de gypse, induré et morcelé en plaques polygonales dont l'amorce est visible dans l'horizon sous-jacent qui est toujours un horizon Ys.

#### *Principaux caractères :*

- structure très massive. Les faces supérieures des plaques polygonales, avec pellicules de lichens souvent unies ou lapiazées et les faces inférieures constituées d'une pellicule durcie sont nettement individualisées ;
- la matrice est composée d'un assemblage très dense ;
- pas de racines ni de radicelles.

#### *Positions pédologiques :*

- souligne souvent des ruptures de pente à la partie supérieure d'un horizon Ys.

### Horizon gypsiq de surface (Ys)

#### *Définition - Caractéristiques majeures :*

horizon de surface ou proche de la surface, d'épaisseur sensiblement constante et comprise entre 20 et 50 cm, caractérisé par une concentration

continue (encroûtement) de gypse microcristallisé en relation avec l'activité racinaire et le cycle humectation / dessiccation en zones arides et semi-arides, sur roches-mères gypseuses.

**Principaux caractères :**

- teneur totale en gypse comprise entre 25 et 95 % ; calcaire total < 20 % ;
- structure massive, relativement friable avec des amas plus durs et colorés (« têtes d'épingles ») ;
- gypse microcristallisé (< 20  $\mu\text{m}$ ) avec quelques gros cristaux de gypse et de quartz ;
- couleurs : *value* 8, *chroma* entre 0 et 3, teinte de 2,5 YR à 10 YR (bornes comprises) ;
- racines et radicelles nombreuses, souvent noirâtres ;
- très compact, porosité tubulaire ;
- CEC de quelques  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ . Solution du sol saturée en  $\text{Ca}^{++}$  avec une conductivité de plus de 2  $\text{mS}/\text{cm}$  (de 2 à 7). Fort déficit en éléments nutritifs. Les déterminations analytiques classiques sont inopérantes et les méthodes mieux adaptées difficiles à mettre en œuvre.

**Positions pédologiques :**

- horizon toujours proche de la surface, souvent surmonté par un horizon pétrogypsi Ym. Il épouse les formes topographiques de l'amont à l'aval d'un glacis ou d'un versant, du centre au rebord d'un plateau ou d'une terrasse ;
- la transition avec la roche-mère gypseuse se fait par l'intermédiaire d'un horizon à concentration discontinue de gypse en pseudomycéliums, amas, nodules et cristaux macroscopiques ;
- genèse encore mal connue où interviennent des recristallisations successives de gypse de plus en plus fin en relation avec l'activité racinaire. Cet horizon, d'une épaisseur de 40 cm dans le sud tunisien, correspond à la partie du solum qui est affectée par le cycle humectation/dessiccation.

**Positions géographiques :**

- sur roches-mères gypseuses ;
- zones arides et semi-arides (précipitations annuelles < 300 mm) ;
- végétation naturelle adaptée avec notamment le groupe biogéochimique des thiophores qui accumulent beaucoup de soufre, calcium et magnésium ;
- position géomorphologique bien définie sur les surfaces du Pleistocène et de l'Holocène. Pédogenèse ancienne qui se poursuit actuellement.

## Horizon gypsique de profondeur (Yp)

### Définition - Caractéristiques majeures :

horizon d'épaisseur très variable (10 à 100 cm) caractérisé par une concentration continue (encroûtement) de gypse cristallisé et parfois induré en relation soit avec une nappe phréatique soit avec des phénomènes d'illuviation verticale ou avec une circulation latérale des solutions.

### Principaux caractères :

- teneur en gypse comprise entre 15 et 60 % ; calcaire total très variable (< 40 %) ;
- structure massive parfois indurée avec cristaux plus ou moins visibles, parfois sur-structure lamellaire grossière. Très compact ;
- les cristaux sont plus gros que dans l'horizon Y de surface (10 à 100  $\mu\text{m}$ ). Quelques vides avec gypsanes ;
- couleur : la *value* Munsell peut descendre à 7 et le *chroma* monter à 4 ;
- peu ou pas de racines ;
- solution du sol saturée en  $\text{Ca}^{++}$  avec une conductivité > 2 mS/cm pouvant atteindre 80 ;
- horizon formant obstacle à la pénétration des racines et à la circulation de l'eau.

### Positions pédologiques :

- horizon de moyenne profondeur, parfois assez proche de la surface en relation avec le niveau de la nappe phréatique ou avec des situations en aval des formes du relief ;
- les transitions verticales avec les horizons de surface et avec la roche-mère, ainsi que les transitions latérales vers l'amont, se font par l'intermédiaire d'horizons à concentrations discontinues de gypse en nodules plus ou moins grossièrement cristallisés, amas et pseudomycéliums ;
- se rencontrent dans des solums salsodiques et hydromorphes, des « sie-rozems », etc.

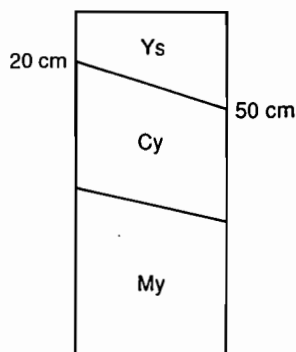
### Positions géographiques :

- roches-mères très variées, gypseuses ou non gypseuses ;
- climat aride et semi-aride.

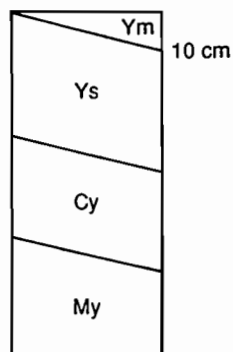
### Principaux faciès :

- faciès très induré = croûte (horizon Ypm) ;
- faciès calcaro-gypseux.

## Solums diagnostiques - 2 Références



GYPSOSOL HAPLIQUE



GYPSOSOL PETROGYPSIQUE = à croûte

## Qualificatifs

Tout solum, autre qu'un GYPSOSOL, contenant un horizon Yp sera qualifié de « à horizon gypsiqe ».

Tout horizon qui n'est ni un Ys ni un Ym et qui montre une accumulation gypseuse localisée sous forme de pseudomycéliums, amas, nodules ou cristaux sera noté -y (horizons Sy, Cy, My, etc.). Ces solums seront dits « à horizon S, C ou M gypseux ».

## Propriétés agronomiques - Aménagements

Les GYPSOSOLS offrent à la végétation un milieu très défavorable et difficile à traverser aussi bien du point de vue physique (grande compacité et éventuellement induration) que du point de vue chimique (fort déficit en éléments nutritifs, particulièrement en phosphates, potassium, mais aussi nitrates et autres éléments ou oligo-éléments).

L'horizon Ys, notamment, constitue un véritable « tampon stérile » qu'il est nécessaire de faire « sauter » pour implanter des espèces arbustives (aménagement de rideaux de protection contre l'érosion éolienne, plantation des palmiers d'oasis).

Les GYPSOSOLS sont cependant irrigués dans de vastes régions d'Irak et de Syrie. Les cultures les mieux adaptées à la présence du gypse sont les palmiers et la luzerne mais on peut y cultiver aussi betteraves, fève, tomates (serres), etc.



# HISTOSOLS

A. Laplace-Dolonde

## Généralités et conditions de formation

Le terme de tourbe présente une connotation plus géologique et écologique que pédologique, la classification des tourbes ayant comme critère premier les conditions écologiques de genèse. C'est pourquoi le terme d'HISTOSOL a été retenu dans le Référentiel Pédologique pour désigner les solums et leur fonctionnement.

Un HISTOSOL est composé de matières organiques et d'eau. Le solum se construit à partir de débris végétaux morts qui se transforment lentement en conditions d'anaérobiose en raison de son engorgement permanent ou quasi-permanent. Un HISTOSOL est constitué presque exclusivement d'horizons H (cf. définitions de ces horizons).

Deux processus différents sont à l'origine de la formation des HISTOSOLS :

- dans un premier cas, pré-existe un lac ou un étang. La végétation hygrophile (des bordures) et aquatique (en surface de l'eau) comble peu à peu de ses débris le volume d'eau initial, c'est le processus d'atterrissement ;
- dans un second cas, un substrat minéral pré-existe. La formation de l'HISTOSOL résulte de conditions topographiques et hydriques locales qui engendrent un engorgement complet et une accumulation progressive de matières organiques.

Les conditions tourbigènes optimales sont celles qui favorisent la saturation permanente du solum par l'eau (apports d'eau suffisants et limitation des pertes), associées à des conditions de ralentissement de transformation des débris végétaux.

Tant que le niveau d'eau est suffisant pour saturer le milieu et limiter la présence d'oxygène, l'activité tourbigène se poursuit, les litières s'accumulent et l'HISTOSOL grandit de 0,2 à 1,6 mm/an. La tourbification met en jeu le climat (température et pluviosité), la topographie et la géologie (qui gèrent l'écoulement), la formation végétale qui produit le matériel parental du solum.

En conséquence, les HISTOSOLS s'observent sous presque toutes les latitudes du globe. En zone tempérée (et en France en particulier où ils couvrent



environ 100 000 ha), les HISTOSOLS proviennent le plus souvent de l'héritage quaternaire. Les plus anciens ont commencé leur croissance il y a 10 000 à 9 000 ans. Les oscillations climatiques (périodes glaciaires et interglaciaires) ont conduit à des alternances de végétations et de régimes hydriques pouvant occasionner jusqu'à l'arrêt de la formation de tourbe, formation qui a pu être reprise ultérieurement à la faveur de conditions hydriques locales favorables.

Il est donc important de connaître si l'accumulation de matière organique est toujours actuelle ou si le fonctionnement de l'HISTOSOL n'affecte qu'un matériel hérité.

## Constituants des HISTOSOLS

### La matière organique

Son accumulation résulte fondamentalement d'une différence entre les cinétiques de production (production primaire de biomasse) et de destruction. Sa constitution est directement liée aux végétaux qui la produisent à l'origine et à la dégradation de ceux-ci.

#### *Origine botanique et teneurs en fibres*

L'étude des macro-restes permet de distinguer des végétaux herbacés, ligneux et muscinaux. Cette origine se traduit en grande partie par la teneur en fibres (cf. méthodes de caractérisation). Par exemple, les herbacées produisent des tiges creuses remplies de moelle, les feuilles allongées sont aplaties ou rondes.

L'origine botanique est une donnée tellement importante qu'elle est à l'origine de nombreuses classifications des HISTOSOLS comme aux USA et en ex-URSS. Les bryophytes se partagent entre les sphaignes et les autres types de mousses. Les herbacées se composent essentiellement de Graminées, Cypéracées, Joncacées, Typhacées et Equisétacées. Les arbres et les arbustes se limitent à quelques espèces de Pinacées, Fagacées, Bétulacées, Salicacées, Myricacées et Ericacées.

Il est cependant bien rare de trouver une origine botanique unique dans les HISTOSOLS. Non seulement il est souvent observé une superposition de couches d'origine botanique différente, mais chaque couche est composée de mélanges. Toutes les combinaisons sont possibles.

#### *Origine botanique et degré de décomposition*

La relation entre la teneur en fibres et l'origine du matériau est plus ou moins évidente si l'on considère l'état de dégradation du matériel apprécié par l'échelle d'humification de Von Post (cf. tabl. p. 170). Elle varie selon le type de végétaux tourbigènes et selon les conditions hydriques du milieu.

Tandis que les Bryales se décomposent rapidement, les sphaignes conservent leurs caractères morphologiques originaux plus longtemps que les autres

végétaux en exerçant une sorte d'autoprotection, grâce à l'acidification du milieu à laquelle elles contribuent. Parmi les herbacées, les laiches ont tendance à être plus décomposées que les autres. Quant aux résidus ligneux, objets de processus divergents, ils se transforment en éléments de dimensions diverses : matière fine (décomposition chimique), grains de petite taille (comme du sable moyen) et gros éléments (multiple du centimètre ou du décimètre) par fractionnement.

## L'eau

En conditions naturelles, il y a interrelation intime entre le type de matériel végétal, son degré de décomposition et la circulation de l'eau dans l'HISTOSOL, l'eau intervenant par sa nature et son niveau dans l'installation du cortège vivant, puis dans la vitesse et le mode de décomposition du végétal mort (c'est-à-dire dans le degré d'anaérobiose).

L'eau joue donc, dans la vie de l'HISTOSOL un rôle primordial. Par sa quantité, sa répartition annuelle, sa qualité chimique et sa circulation au sein du solum, l'eau règle la croissance, l'évolution, voire la survie de l'HISTOSOL.

L'eau intervient quantitativement par son niveau moyen annuel, nécessairement proche de la surface en cas de formation de tourbe (HISTOSOLS productifs). L'amplitude et la fréquence des fluctuations règlent le bilan entre la matière produite et la matière décomposée lors de périodes d'aérobiose.

Lorsque les précipitations sont la seule source d'alimentation hydrique, on parle d'HISTOSOL **ombrogène**. En revanche, lorsque la quantité d'eau alimentant le marais tourbeux dépend des apports du bassin versant amont et des infiltrations ou ruissellements latéraux, en relation avec la plus ou moins grande perméabilité de l'environnement géologique, proche ou lointain, on parle d'HISTOSOL **soligène**.

La qualité de l'eau résulte indirectement du mode d'alimentation. Dans le cas d'une alimentation soligène, elle dépend de la teneur des roches en éléments minéraux solubles, liée au degré de dépendance de l'HISTOSOL à son impluvium.

Le pH de l'eau contenue dans les horizons histiques révèle imparfaitement les conditions trophiques. Ainsi, un HISTOSOL aura un caractère **eutrophe** (pH > 6), **mésotrophe** (pH compris entre 4,5 et 6) ou **oligotrophe** (pH < 4,5).

Ces conditions hydriques dépendent de la composition minérale, particulièrement de leur teneur en azote et en phosphore et de l'oxygénation des eaux. En relation avec le niveau moyen et les fluctuations de la nappe, elles contrôlent la production de biomasse.

## Méthodes de caractérisation

Un horizon histique se définit par sa teneur en fibres frottées, son taux de cendres, son taux d'humidité *in situ*, son pH, sa composition botanique et son taux d'humification.

### Echelle d'humification des horizons histiques selon Von Post

	Degré de l'échelle	Décomposition	Structures végétales avant le test	Présence de matière amorphe	Matériau obtenu par pression dans la main	Nature du résidu restant dans la paume de la main
R <sub>1</sub> *	h <sub>1</sub>	nulle	parfaitement identifiables	nulle	eau limpide	végétaux non décomposés
	h <sub>2</sub>	insignifiante	facilement identifiables	nulle	eau de couleur jaune à brune	végétaux très peu décomposés
O <sub>i</sub>	h <sub>3</sub>	très faible	identifiables	très faible	eau de couleur brune à noire	végétaux peu décomposés masse fibreuse faiblement humide
R <sub>2</sub>	h <sub>4</sub>	faible	difficilement identifiables	faible	eau turbide	le résidu (humide) est de consistance légèrement granuleuse
	h <sub>5</sub>	moyenne	reconnaissables mais non identifiables	moyenne	eau turbide avec un peu de tourbe	résidu pâteux détrempé, structures végétales encore visibles à l'œil nu
O <sub>e</sub>	h <sub>6</sub>	moyenne à forte	non reconnaissables	élevée	eau boueuse : moins du 1/3 de tourbe passe entre les doigts	résidu granuleux et mou avec quelques structures végétales visibles
R <sub>3</sub>	h <sub>7</sub>	forte	indistinctes	très élevée	eau boueuse : environ la moitié de tourbe passe entre les doigts	résidu détrempé avec quelques structures végétales visibles
	h <sub>8</sub>	très forte	très indistinctes	très élevée	boue : les 2/3 de tourbe passent entre les doigts	résidu mou et détrempé avec parfois des résidus ligneux non décomposés
	h <sub>9</sub>	presque totale	pratiquement non discernables	très élevée	presque tout le mélange homogène eau-sol passe entre les doigts	la structure des végétaux inclus dans le résidu en faible quantité est rarement reconnaissable
O <sub>a</sub>	h <sub>10</sub>	totale	non discernables	très élevée	toute la masse homogène tourbeuse passe entre les doigts	pas de résidu

\* équivalences : R<sub>1</sub> - R<sub>3</sub> - indices de l'International Peat Society.

O<sub>i</sub> - O<sub>a</sub> - indices de l'US Dept of Agriculture et du Soil Conservation Service.

La caractérisation et la compréhension des HISTOSOLS impliquent également l'analyse des eaux qui doit être menée parallèlement.

### Méthodes de terrain

L'échelle de décomposition de Von Post est une méthode de terrain à employer sur matériau saturé d'eau. On presse l'échantillon dans sa main et on apprécie la couleur du liquide s'échappant à travers les doigts et celle de l'échantillon restant dans la paume de la main. L'échelle comprend 10 degrés (tabl. ci-contre).

De même, le taux de fibres peut être évalué par toucher entre les doigts.

La couleur de l'horizon selon le code Munsell doit être notée dès le prélèvement. Sa modification ultérieure indique indirectement les conditions d'anaérobiose de l'horizon.

Par l'emploi d'un préleveur de tourbe (échantillon non remanié sur 50 cm) ou par l'étude d'une coupe, on peut étudier la structure des différents horizons H, c'est-à-dire l'organisation naturelle des constituants entre eux.

### Analyses de laboratoire

En raison de la constitution holorganique des horizons histiques, des méthodes analytiques particulières doivent être employées et d'autres, courantes en pédologie, doivent être adaptées. 7 caractères sont particulièrement intéressants. Certains sont communs aux approches effectuées pour caractériser d'autres sols : pH, densité apparente, CEC ; les autres sont spécifiques : indice pyrophosphate, taux de cendres, taux de fibres frottées, étude des macro-restes.

**Le pH** est mesuré après agitation dans l'eau d'un échantillon ressuyé mais non séché.

**La densité apparente** varie à la fois avec l'origine botanique des matériaux et leur degré de décomposition. Les valeurs s'échelonnent généralement entre 0,02 et 0,25 g/cm<sup>3</sup>, en relation inverse avec la porosité totale (de 0,80 à 0,98 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>).

**La capacité d'échange cationique (CEC)** des horizons H est très élevée (100 à 500 cmol<sup>+</sup>/kg). Elle est déterminée sur échantillons frais par la méthode de Thorpe (1973). Ainsi obtenue, la CEC est un bon indicateur de degré de décomposition.

**L'indice pyrophosphate** (Kaïla, 1956) sert à mesurer le degré de décomposition du matériel végétal par extraction des composants organiques solubles dans le pyrophosphate de sodium.

**Le taux de cendres** par calcination d'un échantillon sec (séché à 105 °C) à 600 °C pendant 2 heures (après deux paliers successifs d'une heure à 350 et 450 °C) permet une bonne estimation des teneurs réelles en matières organiques.

**Le taux de fibres frottées** (Levesque et Diné) est obtenu par pesée du refus sur tamis de 200 µm après tamisage à l'eau. Il est exprimé sous la forme d'une proportion pondérale sur échantillons séchés à 105 °C. Il permet de classer les horizons H en sapriques, mésiques et fibriques.

**La caractérisation des macro-restes** (pour une connaissance botanique des éléments) s'effectue sur des refus de tamis de 200 µm après passage des échantillons dans une solution de potasse normale à ébullition.

**Remarque** : contrairement aux horizons minéraux, les analyses chimiques totales (Ca, Mg, K, Na, P, N, Al, Fe, etc. ) donnent des résultats directement interprétables en termes de caractérisation et de fonctionnement biochimique.

## Fonctionnement des HISTOSOLS

Dans les tourbières, la circulation de l'eau est tout à fait spécifique. En outre, il y a des différences entre les horizons entièrement saturés par l'eau et ceux non complètement saturés. Dans les premiers, la circulation de l'eau dépend surtout des macropores, de leur disposition par rapport à la source d'approvisionnement en eau et de la connexion entre les réseaux de pores. Dans les horizons non saturés, la circulation de l'eau se fait par capillarité dans les micropores.

Le fonctionnement hydrique d'un HISTOSOL est une conséquence étroite à la fois de la composition botanique (conséquence directe), du degré de décomposition et de la porosité (conséquence indirecte). Les réactions sont différentes suivant la structure des cellules végétales internes aux fibres, l'organisation des structures végétales les unes par rapport aux autres, et la présence plus ou moins importante d'une matière organique fine (sans débris figurés visibles à l'œil nu). Les battements piézométriques inter-annuels et pluri-annuels font partie du fonctionnement du solum histique. Le fonctionnement d'un HISTOSOL est en relation directe avec les bilans stationnels entre alimentation en eau et pertes (évapotranspiration et écoulement). Suivant leur épaisseur, on peut distinguer 2 grands types d'HISTOSOLS :

### HISTOSOLS de moins de 60 cm d'épaisseur

Quelle que soit leur position, ils sont en équilibre avec les conditions climatiques et géomorphologiques. Les échanges avec le substrat sous-jacent font souvent partie intégrante de leur fonctionnement. Ces HISTOSOLS sont alors complètement dépendants de la nature de ce substrat tant au point de vue chimique que du point de vue hydrologique.

### HISTOSOLS de plus de 60 cm d'épaisseur

Ils peuvent être très épais (certains atteignent 12 m). La part n'est pas toujours facile à faire entre l'évolution ancienne du matériau et le fonctionne-

ment pédologique actuel. On peut toutefois distinguer quatre niveaux de fonctionnement (profondeurs indicatives) :

- de 0 à 25 cm : c'est l'horizon où la végétation actuelle est enracinée et où les dernières litières sont en cours d'incorporation au solum. Il y a donc une relation étroite entre les propriétés de cet horizon et le cortège végétal. Dans les HISTOSOLS ombrogènes à sphaignes, ce niveau est engorgé superficiellement par imbibition d'eau météorique ;

- de 25 à 50 cm : la matière organique n'est plus vivante. La litière s'est transformée en horizon histique. C'est à ce niveau que l'HISTOSOL acquiert ses propriétés physico-chimiques caractéristiques. C'est, dans le cas de non-saturation permanente, le niveau de battement de la nappe superficielle.

Ces niveaux supérieurs du solum présentent, relativement aux parties inférieures, une conductivité hydraulique élevée, des échanges nombreux entre l'eau et l'atmosphère, des fluctuations importantes de la nappe, une forte activité des organismes aérobies. Ces horizons subissent en priorité les conséquences de conditions alternées (principalement modification de la structure). Il s'agit de l'« **acrotelm** » tel que l'ont défini Ivanov (1981) et Ingram (1982) ;

- à partir de 50 cm : c'est un matériel déjà ancien, plus ou moins tassé, plus ou moins dégradé, qui est toujours en état de saturation par l'eau. A mesure que les débris végétaux rejoignent les horizons plus en profondeur, on assiste à leur décarboxylation bien que les organismes décomposeurs deviennent de moins en moins actifs à ces niveaux.

Cette partie inférieure des solums histiques peut atteindre plusieurs mètres d'épaisseur : c'est le « **catotelm** ». La conductivité hydraulique et les mouvements de l'eau y sont très faibles. La faune aérobie est inexistante, en raison de l'absence complète d'échanges entre l'eau et l'atmosphère.

Sur le terrain, la part n'est pas toujours facile à faire entre l'évolution ancienne du matériel et le fonctionnement pédologique actuel. Les analyses de laboratoire (taux de fibres, indice pyrophosphate, etc. ) permettent toutefois de fixer de manière précise la limite entre les différents fonctionnements, entre « acrotelm » et « catotelm » ;

- l'interface HISTOSOL/matériau minéral peut être franc ou se composer d'un niveau très organique mais humifié et souvent limono-argileux. Il porte la trace du processus de naissance de l'HISTOSOL. Il gère en partie les échanges d'eau entre l'environnement géologique et le solum.

## 7 Références

Au plan morphologique, les HISTOSOLS sont définis par la présence quasi-exclusive des horizons holorganiques histiques H. Les définitions des horizons Hf, Hm, Hs, Ha et LH sont données page 30.

On appelle « prédominant » l'horizon Hf, Hm ou Hs qui est le plus épais (éventuellement épaisseurs cumulées) entre 40 et 120 cm de profondeur.

Dans les HISTOSOLS, on peut observer des matériaux non holorganiques, déposés en surface (sur une épaisseur inférieure à 40 cm) ou intercalés au sein des horizons histiques.

Le **matériau terreux** (Mt) est un matériau minéral ou organo-minéral, consolidé ou non, continu, recouvrant des horizons H ou interstratifié sous forme de lits (alluvions, colluvions, cendres volcaniques, etc.).

Le **matériau limnique** (Mli) est un matériau coprogène ou une tourbe sédimentaire (= débris de plantes aquatiques très modifiées par les animaux aquatiques), une terre à diatomées, une marne dérivant de débris végétaux et d'organismes aquatiques (charophycées, coquilles d'animaux). Cette définition inclut la notion de « gyttja » utilisée en Europe septentrionale.

En cas de contact lithique, les HISTOSOLS doivent être plus épais que 10 cm (sinon rattachement aux LITHOSOLS).

#### HISTOSOLS LEPTIQUES

Les horizons H (de plus de 10 cm d'épaisseur au total) reposent sur un substrat meuble ou dur (couches M ou R) et le contact a lieu avant 40 cm pour des horizons Hm ou Hs ou avant 60 cm pour des horizons Hf.

Il peut exister un horizon S ou C de moins de 10 cm d'épaisseur. Dans ce cas, les horizons H doivent avoir une épaisseur de plus du double de cet horizon minéral.

#### HISTOSOLS FIBRIQUES

Le solum comporte des horizons Hf prédominants, de plus de 60 cm d'épaisseur. Outre ceux communs à tous les HISTOSOLS (cf. ci-après), on peut utiliser les Qualificatifs suivants :

- **typique** : si le solum ne comporte pas de Hm de plus de 25 cm ni de Hs de plus de 12 cm en dessous de 40 cm de profondeur et jusqu'à 120 cm ;
- à **horizon mésique**, s'il comporte un horizon Hm de plus de 25 cm et pas de Hs de plus de 12 cm ;
- à **horizon saprique**, s'il comporte un horizon Hs de plus de 12 cm et peut comporter un Hm ;
- à **matériau limnique**, s'il comporte une couche de matériau limnique de plus de 5 cm sous les 60 premiers cm de Hf ;
- à **matériau terreux**, si présence d'un matériau terreux sous les 60 premiers cm de Hf ;
- **sphagno-fibrique** : HISTOSOL FIBRIQUE composé de fibres de sphaignes pour au moins 3/4 du volume.

#### HISTOSOLS MÉSIQUES

Le solum présente des horizons Hm prédominants, de plus de 40 cm d'épaisseur. Outre ceux communs à tous les HISTOSOLS (cf. ci-après), on peut utiliser les Qualificatifs suivants :

- **typique** : si le solum ne comporte pas de Hf de plus de 25 cm ni de Hs de plus de 12 cm en dessous de 40 cm de profondeur ;
- à **horizon fibrique** s'il comporte un horizon Hf de plus de 25 cm et pas de Hs de plus de 12 cm ;
- à **horizon saprique**, s'il comporte un Hs de plus de 12 cm et peut comporter un Hf ;
- à **matériau limnique**, s'il comporte un matériau limnique de plus de 5 cm sous les 40 premiers centimètres de Hm ;
- à **matériau terreux**, si présence d'un matériau terreux sous les 40 cm supérieurs de Hm.

#### HISTOSOLS SAPRIQUES

Le solum présente des horizons Hs prédominants, de plus de 40 cm d'épaisseur. Outre ceux communs à tous les HISTOSOLS (cf. ci-après), on peut utiliser les Qualificatifs suivants :

- **typique** : si le solum ne comporte pas de Hf ni de Hm de plus de 25 cm en dessous de 40 cm de profondeur ;
- à **horizon fibrique**, s'il comporte un horizon Hf de plus de 25 cm et pas de Hm de plus de 25 cm,
- à **horizon mésique**, s'il comporte un Hm de plus de 25 cm et peut comporter un Hf
- à **matériau limnique**, s'il comporte un matériau limnique de plus de 5 cm sous les 40 premiers centimètres de Hs,
- à **matériau terreux**, si présence d'un matériau terreux sous les 40 cm supérieurs de Hs.

#### HISTOSOLS COMPOSITES

Le solum ne comporte pas d'horizons sapriques, fibriques ou mésiques vraiment prédominants (entre 40 et 120 cm).

#### HISTOSOLS RECOUVERTS

Le solum comporte un matériau terreux ou des horizons minéraux de 10 à 40 cm d'épaisseur, au-dessus des horizons H. La texture dominante doit être indiquée. Outre ceux communs à tous les HISTOSOLS (cf. ci-après), on peut utiliser les Qualificatifs suivants :

- à **horizon fibrique** si l'horizon prédominant est fibrique,
- à **horizon mésique** si l'horizon prédominant est mésique,
- à **horizon saprique** si l'horizon prédominant est saprique.

#### HISTOSOLS FLOTTANTS

Ils reposent sur de l'eau libre qui apparaît entre 40 et 160 cm de profondeur. Ils correspondent aux « tourbes flottantes ». On distingue les HISTOSOLS FLOTTANTS à horizons fibriques prédominants et ceux à horizons mésiques.



## Qualificatifs spécifiques pour les HISTOSOLS

<b>soligène</b>	qualifie un HISTOSOL ou un horizon histique dont le fonctionnement hydrique et la composition de l'eau dépendent principalement de l'alimentation par le bassin versant ou par des sources (s'oppose à ombrogène).
<b>ombrogène</b>	qualifie un HISTOSOL ou un horizon histique dont le fonctionnement hydrique et la composition de l'eau dépendent principalement de l'alimentation pluviale.
<b>topogène</b>	qualifie un HISTOSOL ou un horizon histique dont la formation dépend principalement de conditions topographiques (par opposition à un histosol ombrogène dont la formation dépend principalement de conditions climatiques).
<b>eutrophe</b>	qualifie un HISTOSOL dont la production primaire de biomasse est forte. Un tel milieu est imparfaitement révélé par un pH > 6,5.
<b>mésotrophe</b>	qualifie un HISTOSOL dont la production primaire de biomasse est moyenne. Un tel milieu est imparfaitement révélé par un pH compris entre 4,5 et 6.
<b>oligotrophe</b>	qualifie un HISTOSOL dont la production primaire de biomasse est faible. Un tel milieu est imparfaitement révélé par un pH acide < 4,5.
<b>à horizon(s) fibrique(s)</b>	qualifie un HISTOSOL MÉSIQUE ou SAPRIQUE lorsqu'il existe aussi un (ou des) horizon(s) Hf.
<b>à horizon(s) mésique(s)</b>	qualifie un HISTOSOL FIBRIQUE ou SAPRIQUE lorsqu'il existe aussi un (ou des) horizon(s) Hm.
<b>à horizon(s) saprique(s)</b>	qualifie un HISTOSOL FIBRIQUE ou MÉSIQUE lorsqu'il existe aussi un (ou des) horizon(s) Hs.
<b>sphagno-fibrique</b>	qualifie un HISTOSOL FIBRIQUE composé de fibres de sphaignes pour au moins 3/4 de son volume.
<b>à matériau terreux</b>	qualifie un HISTOSOL lorsqu'il y a, en profondeur, un matériau terreux (plus de 30 cm d'épaisseur).
<b>à matériau limnique</b>	qualifie un HISTOSOL lorsqu'il y a, en profondeur, un matériau limnique de plus de 5 cm d'épaisseur.
<b>interstratifié</b>	qualifie un HISTOSOL dans lequel de minces couches de matériaux minéraux sont intercalées. Plus de 50 cm cumulés mais chaque couche est moins épaisse que 30 cm.
<b>assaini</b>	un abaissement artificiel du niveau de la nappe entraîne une non-saturation des horizons de surface qui demeurent cependant humectés.
<b>pyractique</b>	qualifie un solum dont l'horizon de surface a brûlé.
<b>bathy-pyractique</b>	qualifie un solum dont des horizons profonds ont brûlé.

## Exemples de types

HISTOSOL SPHAGNO-FIBRIQUE	oligotrophe, ombrogène.
HISTOSOL SAPRIQUE	à matériau limnique, soligène, oligotrophe.
HISTOSOL RECOUVERT	argilo-limoneux, mésique.

## Utilisation et rôle des HISTOSOLS

### *In situ par mise en pâture*

La mise en pâture ne produit pas de transformation irréversible du régime hydrique. Cependant le prélèvement par fauchage ou pâturage de la formation végétale supprime l'apport nouveau de matière organique. Si l'HISTOSOL fait plus de 60 cm d'épaisseur, la tourbe n'est modifiée que très superficiellement.

### *In situ après assainissement*

L'assèchement provoque un remplacement progressif par l'air des vides occupés initialement par l'eau. Le milieu n'est plus asphyxiant. Un double processus physique et chimique se met en route. Par élimination progressive de l'eau liée, on assiste à une oxydation de la matière organique et par voie de conséquence à une restructuration des matériaux organiques accompagnée d'un phénomène de subsidence.

### *Extraction de la tourbe*

Certaines tourbes sont exploitées tant pour des besoins en combustibles que comme amendements et supports de culture.

### *Protection des paysages et des écosystèmes*

Les tourbières sont des milieux humides très particuliers, biologiquement riches, tant du point de vue floristique que faunistique. Ce rôle patrimonial est désormais pris en compte.

## Relations avec d'autres GER

### *Avec les sols hydromorphes sensu stricto*

Les HISTOSOLS connaissent des excès d'eau prolongés comme les RÉDUCTISOLS. Le caractère d'anaérobiose les réunit. Sauf dans les matériaux terreux ou limniques, les processus d'oxydo-réduction sont peu visibles. En l'absence de constituants minéraux, il n'y a ni mobilité ni redistribution du fer

dans le solum. Cependant certaines eaux plus chargées en oxydes de fer les redéposent à l'occasion de suintements (dépôts ferrihydriques).

D'autre part, dans les sols hydromorphes, l'évolution de la matière organique en surface peut se traduire par une accumulation de litière (hydromoder, hydromor, anmoor) qui peut aller jusqu'à un horizon histique.

Les horizons histiques peuvent être superposés à des horizons réductiques. Dans le pédo-paysage, on peut observer une juxtaposition d'HISTOSOLS et de sols hydromorphes.

#### **Avec les FLUVIOSOLS**

Certains HISTOSOLS occupent comme les FLUVIOSOLS des basses vallées. Les uns et les autres sont notés sur les cartes géologiques comme des alluvions récentes. Leur mise en place peut avoir été concomitante. Ils sont marqués par la présence d'une nappe alluviale permanente mais à grand battement et ils sont souvent inondables en période de crue. La principale différence est que le matériau des FLUVIOSOLS n'est pas holorganique.

On peut qualifier les HISTOSOLS des basses terrasses et à fonctionnement d'alimentation alluviale d'HISTOSOLS fluviques.

#### **Avec les SALISOLS et SODISOLS**

Il n'y a aucun point commun entre le fonctionnement des sols salsodiques et celui des HISTOSOLS. Cependant, sur les côtes basses, ils se côtoient souvent directement. Leur contact se fait en profondeur par l'intermédiaire du front entre eau salée et eau douce. Le gradient hydraulique entre les deux nappes est le moteur du mode de dilution des eaux salées par les eaux douces. Dans ce cas, l'eau profonde des nappes peut être chargée en ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Mg}^{++}$ . Cette charge évolue en fonction de la marée et des aménagements hydrauliques.

#### **Avec les THALASSOSOLS**

Les marais littoraux des côtes basses se partagent entre les THALASSOSOLS et les HISTOSOLS. Le cas classique sur la côte atlantique est la succession : 1) cordon littoral, 2) polder (plus ou moins aménagé) à THALASSOSOLS, 3) tourbière à HISTOSOLS. Les HISTOSOLS sont en arrière, souvent au pied d'une paléo-falaise. Dans cette position, ils ne présentent pas de problème de salinité contrairement au cas précédent.

Des horizons histiques peuvent être en contact des THALASSOSOLS. A l'inverse, des THALASSOSOLS peuvent recouvrir des horizons histiques.

#### **Avec les ORGANOSOLS**

ORGANOSOLS et HISTOSOLS diffèrent principalement par le milieu de formation. Les ORGANOSOLS se sont formés dans un milieu naturellement bien

# Essai de typologie du fonctionnement des Histosols

(Arlette Laplace-Dolonde, 1992)

## Facteurs intervenant

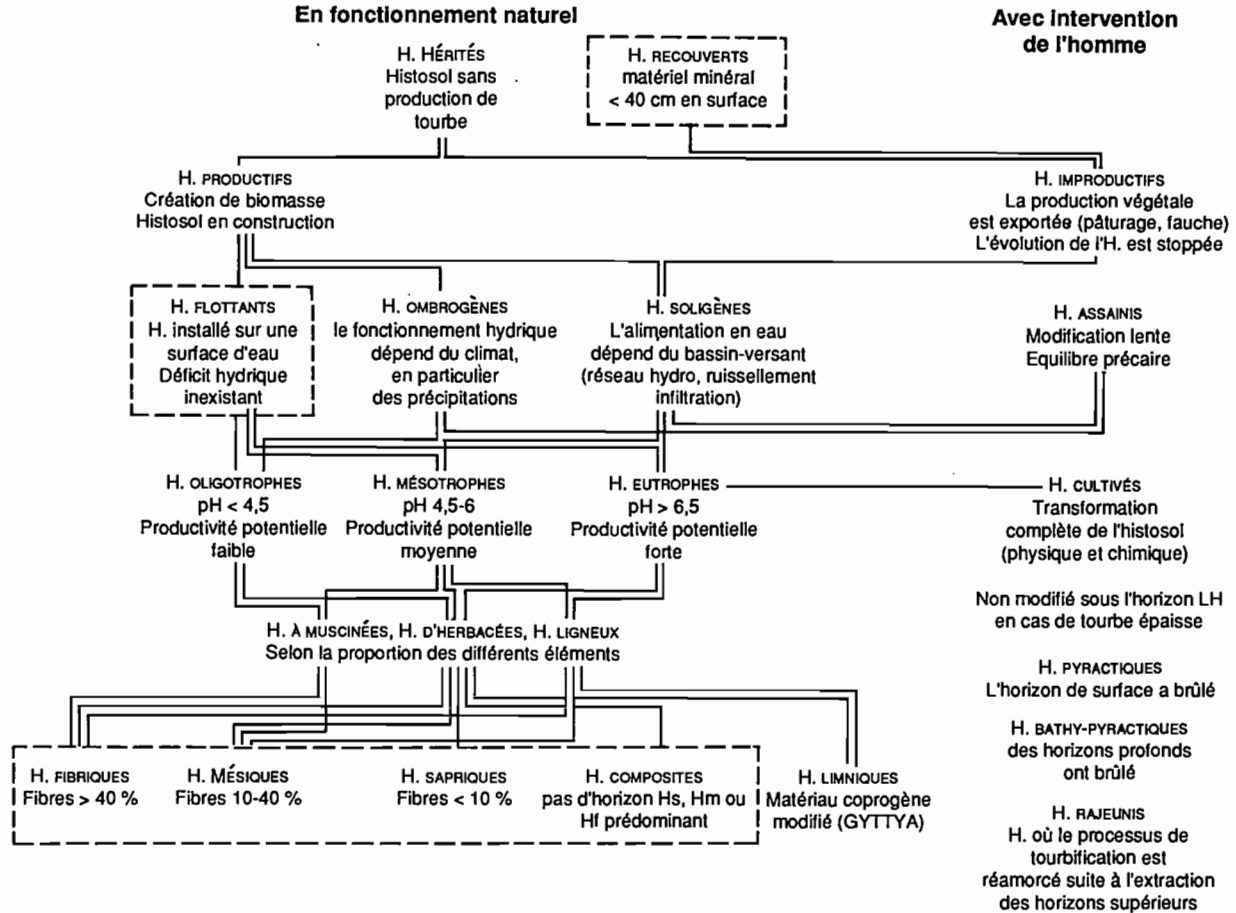
### 1. Production de tourbe

### 2. Alimentation en eau

### 3. Qualité trophique

### 4. Caractère botanique

### 5. Caractère morphologique



ou assez bien drainant. En outre ils n'excèdent généralement pas un mètre d'épaisseur tandis que les HISTOSOLS peuvent atteindre plusieurs mètres. Enfin, les ORGANOSOLS peuvent contenir une fraction minérale notable, alors que celle-ci est absente ou très faible dans les HISTOSOLS sauf dans le cas des HISTOSOLS terreux.

Dans les pédo-paysages comportant des THIOSOLS et des SULFATOSOLS, on pourra qualifier certains HISTOSOLS de sulfidiques ou de sulfatés.

#### **Avec les CRYOSOLS**

Un solum présentant des horizons H et un permafrost à moins d'un mètre de profondeur est rattaché aux CRYOSOLS HISTIQUES.

---

Ce chapitre résulte des réflexions d'un groupe de travail composé de A. Laplace-Dolonde (Caen), J.M. Gobat (Neuchâtel), L.M. Rivière (Angers), J.M. Rivière (Rennes) et D. Baize (Orléans).

# SOLUMS A CARACTÈRES HYDROMORPHES

(Ensemble Cognat)

J.C. Favrot et J.F. Vizier

Ce chapitre traite à la fois des « solums hydromorphes » *sensu stricto* (RÉDUCTISOLS et RÉDOXISOLS) et des autres types de solums qui, tout en comportant des horizons G, g, An ou H, constituent d'autres Références qui seront présentées ailleurs. Le texte ci-dessous a été volontairement allégé. Le lecteur intéressé par le problème général de l'« hydromorphie » peut se reporter à l'annexe 2.

## Définitions générales

Les « solums à caractères hydromorphes » (au sens large) comportent au moins un horizon présentant des caractères attribuables à un excès d'eau. Celui-ci peut être dû au seul défaut de perméabilité d'horizon(s) empêchant l'infiltration des précipitations dans le solum ou résulter de la concentration dans ce dernier de flux d'origine extérieure (inondation, ruissellement, transferts latéraux, remontée d'une nappe souterraine).

La saturation des horizons par l'eau, c'est-à-dire l'occupation de toute la porosité accessible, peut prendre des formes différentes suivant la géométrie de l'espace poral. Si elle se manifeste le plus souvent sous forme de nappe, perchée ou profonde (eau libre), elle peut aussi prendre la forme d'une imbibition capillaire (eau plus ou moins fortement liée au sol) en l'absence de pores grossiers. La saturation par l'eau est plus ou moins durable au cours de l'année, elle peut affecter une partie ou la totalité du solum.

La saturation par l'eau limite les échanges gazeux entre le sol et l'atmosphère. Il peut en résulter un déficit en oxygène plus ou moins prolongé, qui entraîne :

- le développement de processus d'**oxydo-réduction** qui modifie la mobilité différentielle des constituants du sol, d'où des redistributions particulières de certains éléments, notamment du fer ;

- une évolution spécifique de la fraction organique lorsque la saturation intéresse la partie supérieure des solums. L'anaérobiose provoque un ralentissement

tissement et une modification de l'activité biologique. Ceci se traduit par une production de substances propres à ces milieux saturés par l'eau et par une augmentation des teneurs en matières organiques.

Le GER des RÉDUCTISOLS et RÉDOXISOLS regroupe les solums qui présentent exclusivement des horizons marqués par une redistribution particulière du fer et parfois un épisolum humifère épais et foncé. En revanche, nombre de sols subissant un excès d'eau ne sont pas présentés dans ce GER soit parce qu'ils n'ont pas de caractères attribuables aux processus d'oxydo-réduction (certains VERTISOLS, les HISTOSOLS), soit qu'ils ont, en plus, des caractères importants relatifs à d'autres pédogenèses (SALISOLS, SODISOLS, SULFATOSOLS, LUVISOLS, PLANOSOLS, etc.). Tous ces sols affectés par l'excès d'eau constituent un grand **Ensemble Cognat**.

Sur le plan agronomique, l'excès d'eau peut être à l'origine de contraintes liées à l'anoxie/hypoxie, contrariant le développement végétatif des plantes cultivées. Par ailleurs, la perte de cohésion du sol aux fortes humidités et la fragilisation des organisations structurales peuvent se traduire par une modification du comportement mécanique (portance) et nuire ainsi au bon déroulement des façons culturales.

Les sols hydromorphes s'observent sur des roches-mères très variées, en des positions topographiques diverses (plateau, glaciaire, plaine, vallée, terrasse) et sous tous les climats (continental, tempéré, tropical...). Les conditions stationnelles spécifiques sont exprimées par une flore naturelle caractéristique.

## Horizons de référence

### Horizons réductiques (notation Gr et Go)

Leur morphologie est à attribuer à la prédominance des processus de réduction et de mobilisation du fer suite à des engorgements permanents ou quasi-permanents. Dans les horizons réductiques, la répartition du fer est plutôt homogène. Lorsque la porosité et les conditions hydrologiques permettent le renouvellement de l'eau en excès, ces horizons s'appauvrissent progressivement en fer. Parfois, il peut y avoir déferrification complète et blanchiment de l'horizon (horizon G albaque).

La morphologie des horizons réductiques varie sensiblement au cours de l'année en fonction de la persistance ou du caractère saisonnier de la saturation (battement de nappe profonde) qui les génère. D'où la distinction entre horizons réductiques *sensu stricto* et ceux temporairement réoxydés.

Les horizons réductiques *sensu stricto* (notés Gr) sont caractérisés par leur couleur qui peut être soit uniformément bleuâtre à verdâtre (sur plus de 95 % de la surface), soit uniformément blanche à noire ou grisâtre, avec un *chroma* inférieur ou égal à 2.

Dans les horizons réductiques temporairement réoxydés (notés Go), la saturation par l'eau est interrompue périodiquement. Des taches de teintes

rouille (jaune-rouge, brun-rouge), souvent pâles, sont observables pendant les périodes de non saturation, au contact des vides, des racines, sur les faces de certains agrégats. Il y a une redistribution centrifuge du fer, migrant lors du dessèchement de l'horizon, de l'intérieur des agrégats vers leur périphérie. Cette ségrégation de couleurs est fugace, elle disparaît quand l'horizon est de nouveau saturé d'eau.

Une morphologie et un fonctionnement de type réductique peuvent se surimposer aux traits pédologiques résultant du développement (actuel ou ancien) d'autres processus de pédogenèse tels que l'humification ou l'illuviation, par exemple (horizons notés AG ou BTG).

### **Horizons rédoxiques** (notation g ou -g)

Leur morphologie résulte de la succession, dans le temps, de processus de réduction + mobilisation du fer (périodes de saturation en eau) et de processus d'oxydation + immobilisation du fer (périodes de non saturation). Les horizons rédoxiques correspondent donc à des engorgements temporaires.

Les horizons rédoxiques sont caractérisés par une juxtaposition de plages ou de traînées grises (ou simplement plus claires que le fond matriciel de l'horizon), appauvries en fer, et de taches de couleur rouille (brun-rouge, jaune-rouge, voire rouge vermillon dans les SALISOLS), enrichies en fer.

Les taches d'oxydation et/ou de réduction peuvent être assez nombreuses (2 à 20 % de la surface de l'horizon) à très nombreuses (horizon bariolé). Elles peuvent être très fines (1 à 2 mm) à grosses (> 15 mm), peu contrastées ou contrastées. La répartition du fer est donc très hétérogène. La couleur des faces des unités structurales, plus claire que celle de leur partie interne, résulte d'une redistribution centripète de fer migrant, lors des périodes de saturation, vers l'intérieur des agrégats où il s'y immobilise lors du dessèchement. Ces ségrégations du fer sont permanentes, visibles quel que soit l'état hydrique de l'horizon. Les immobilisations se maintenant lorsque le sol est de nouveau saturé, elles tendent ainsi à former peu à peu des accumulations localisées de fer donnant des taches rouille, des nodules ou des concrétions.

Le fer qui se redistribue dans ce type d'horizon peut provenir, dans des proportions variables, d'horizons sus-jacents ou voisins, en liaison avec les circulations verticales ou latérales des solutions du sol. Il y a alors enrichissement en fer. Un fort enrichissement et une forte hétérogénéité de la redistribution du fer peuvent conduire à la formation d'horizons ferriques non indurés (FE) ou indurés (FEm). A l'inverse, un fort appauvrissement en fer peut mener, à la longue, à des horizons complètement dépourvus de fer (horizons E albiques).

Une ségrégation de type rédoxique peut se surimposer aux traits pédologiques résultant du développement (actuel ou ancien) d'autres processus de pédogenèse tels que l'éluviation, l'illuviation, les altérations, etc. (horizons Eg, BTg, Scig, Scag, Sg, etc.).



### Désignation des solums à caractères hydromorphes

Manifestations d'hydromorphie débutant à moins de 50 cm de profondeur. Caractères hydromorphes jugés majeurs		Manifestations d'hydromorphie débutant entre 50 et 120 cm de profondeur. Caractères hydromorphes jugés secondaires ou accessoires		
Présence uniquement d'horizons de référence à caractères hydromorphes		Horizons de référence associant l'hydromorphie et d'autres caractères importants		
Horizons minéraux G, g, FE, FEm, ...	Horizons H seuls	Horizons G et - g + BT, BP, E, S, Sp, Sca, salique, etc.	G, g ou - g débutant entre 50 et 80 cm	G, g ou - g débutant entre 80 et 120 cm
RÉDUCTISOL TYPIQUE RÉDUCTISOL STAGNIQUE RÉDUCTISOL DUPLIQUE RÉDOXISOL	GER des HISTOSOLS	GER incluant la notion d'excès d'eau (PLANOSOLS) ou <i>Rattachement double :</i> LUVISOL-RÉDOXISOL PODZOSOL-RÉDUCTISOL RÉDOXISOL-CALCOSOL, etc.	Utilisation des qualificatifs - rédoxique ou - réductique Exemples : FLUVIOSOL BRUNIFIÉ réductique, ... CALCOSOL rédoxique,...	Utilisation des qualificatifs - à horizon rédoxique de profondeur ou - à horizon réductique de profondeur Exemple : BRUNISOL MÉSOSATURÉ à horizon rédoxique de profondeur

## Autres horizons de référence

L'évolution en anaérobiose plus ou moins prolongée de la fraction organique se traduit par une accumulation de matières organiques et par la formation de substances particulières (cf. hydromull, hydromoder, hydromor, anmoor, horizons histiques H ; cf. annexes 1 et 2). Sont possibles également les horizons FE, FEm et FEmp.

## Désignation des solums à caractères hydromorphes

Pour définir et désigner les Références, deux critères sont utilisés : la profondeur d'apparition des horizons de référence G, g ou -g et la présence d'autres horizons de référence importants tels que E, BT, BP, Sca, Sa, Sal, etc. (cf. tabl. ci-contre).

- **Manifestations d'hydromorphie apparaissant à moins de 50 cm de profondeur** (plus ou moins 10 cm) : les excès d'eau sont considérés comme **majeurs** vis-à-vis du fonctionnement actuel du solum. Trois cas :

- présence uniquement d'horizons G ou -g (horizons A, An, Jp, S, C admis) : rattachement simple aux RÉDUCTISOLS ou aux RÉDOXISOLS ;
- présence également d'horizons E, BT, BP, S, Sca, Sci, Sal, Sp, etc. : rattachement double.

LUVISOL-RÉDOXISOL ou RÉDOXISOL-LUVISOL  
 PODZOSOL-RÉDUCTISOL ou RÉDUCTISOL-PODZOSOL  
 CALCOSOL-RÉDOXISOL ou RÉDOXISOL-CALCOSOL

*Exemple :*

LUVISOL-RÉDOXISOL dégradé, glossique, dystrique, issu de limons anciens

- présence d'horizon E et BT ou S, forte différenciation texturale, changement textural brusque, contact textural sub-horizontale, etc., syndrome définissant les PLANOSOLS TYPIQUES.

- **Manifestations d'hydromorphie apparaissant entre 50 et 80 cm de profondeur** : les excès d'eau sont considérés comme **secondaires** et ils sont indiqués par l'utilisation des Qualificatifs « réductique » ou « rédoxique » qui s'ajoutent au nom de la Référence.

*Exemples :*

FLUVIOSOL TYPIQUE	réductique, humifère, de lit majeur
LUVISOL DÉGRADÉ	rédoxique, glossique, resaturé, issu de limons anciens
CALCISOL	rédoxique, argileux, issu de marne
BRUNISOL MÉSOSATURÉ	rédoxique, caillouteux, à moder, issu d'argile à silex

- **Manifestations d'hydromorphie apparaissant entre 80 et 120 cm de profondeur** : les excès d'eau sont considérés comme **accessoires** et ils sont mentionnés par l'utilisation des Qualificatifs :

- à horizon réductique de profondeur ou
- à horizon rédoxique de profondeur... après le nom de la Référence.

*Remarque* : une tolérance de plus ou moins 10 cm est admise quant aux profondeurs d'apparition des horizons de référence G ou g. Ainsi, le pédologue garde une certaine liberté et peut tenir compte de considérations non strictement morphologiques. Par exemple, il peut invoquer le caractère non fonctionnel, fossile, des traits hydromorphes pour ne pas appliquer strictement les règles présentées ci-dessus.

## RÉDUCTISOLS ET RÉDOXISOLS

Ce GER rassemble les solums pour lesquels les processus d'oxydo-réduction sont jugés prédominants, voire uniques. Le fonctionnement de ces solums est dominé par l'existence de saturations par l'eau permanentes ou temporaires, plus ou moins prolongées et ils présentent parfois un épisolum humifère épais et foncé. Ce GER correspond sensiblement à la sous-classe des « sols hydromorphes minéraux ou peu humifères » de la classification des sols CPCs de 1967.

### RÉDUCTISOLS TYPIQUES

(à saturation permanente remontant saisonnièrement dans le solum : fluctuation d'une nappe permanente profonde)

On les observe en position de fond de vallées, de vallons, de plaine littorale, de delta, de dépression, sur alluvions fluviales ou fluvio-marines, ou encore sur alluvio-colluvions récentes. La présence de l'horizon G est liée à l'existence d'une nappe profonde (phréatique) souvent en relation avec le système hydrographique de surface (cours d'eau, étangs, lacs) et localement avec la mer. Ces conditions hydrologiques et sédimentologiques font que les solums peuvent présenter toutes les textures et des perméabilités fortes ou faibles.

La mise en culture des RÉDUCTISOLS TYPIQUES implique la création (ou la réhabilitation) d'un système d'assainissement par fossés, le réaménagement des cours d'eau, éventuellement la mise en place de digues (contre les inondations) et souvent le drainage souterrain. Localement, les RÉDUCTISOLS TYPIQUES se situent à l'émergence d'une nappe souterraine (« mouillères » ou « sorties sourceuses »). Ces mouillères sont sevrées à l'aide de captages localisés et de tranchées drainantes (drains et graviers).

La mise en valeur forestière est très dépendante de la profondeur estivale de la nappe permanente : obstacle absolu pour pratiquement toutes les espèces de production si elle reste à proximité de la surface (mise en valeur impossible sans assainissement), elle est au contraire très favorable à l'alimentation hydrique estivale des arbres (essences supportant l'engorgement temporaire de surface) dès qu'elle descend à 40 cm de profondeur et plus (peupliers, frênes). Dans ce cas, le drainage artificiel peut être défavorable.

**RÉDUCTISOLS STAGNIQUES**

(à saturation prolongée de surface : nappe perchée ou imbibition capillaire affectant l'horizon A)

Ils se situent généralement en montagne sous climat froid et humide, en position de cuvette ou de replat et subissent le double effet de submersions périodiques et de la quasi-permanence d'une nappe perchée à plancher peu profond. Ils sont rarement mis en cultures.

Certains de ces RÉDUCTISOLS s'observent en position de fond de vallée, de plaine alluviale ou de dépression lorsqu'une lame d'eau recouvre fréquemment le sol (submersion liée au débordement de cours d'eau ou à l'afflux d'eau de ruissellement). Leur mise en valeur suppose une protection contre l'arrivée de ces eaux extérieures (fossés ou canaux de piémont, digues, aménagement des cours d'eau).

**RÉDUCTISOLS DUPLIQUES**

Ils sont affectés par deux niveaux de saturation distincts, résultant le plus souvent de deux nappes superposées : une nappe profonde permanente et une nappe perchée temporaire ou semi-permanente (ou imbibition capillaire).

Ils se situent généralement en positions alluviales, à nappe phréatique peu profonde, sur des matériaux présentant au sommet du solum une discontinuité de nature texturale et/ou structurale générant la formation d'une nappe perchée. La mise en valeur agricole nécessite généralement le rabattement de la nappe profonde par un réseau d'assainissement et le drainage de la nappe perchée par un réseau de canalisations (avec ou sans remblai poreux, associé ou non à un sous-solage ou à un drainage taupe).

Une information complémentaire doit être apportée à l'aide de Qualificatifs quant à la nature de l'horizon lié à la nappe perchée (rédoxique ou réductique) et quant à sa profondeur d'apparition.

**RÉDOXISOLS**

Par opposition à ce que l'on pourrait appeler des « RÉDOXISOLS secondaires » (tels les LUVISOLS-RÉDOXISOLS) qui couvrent de très grandes superficies sur matériaux divers (éoliens, altérites, ...) les RÉDOXISOLS « primaires » sont peu fréquents. On ne les observe que sur des dépôts alluviaux et/ou coluviaux, présentant une discontinuité texturale propre à générer la formation d'une nappe perchée. Celle-ci, outre la pluie, est souvent alimentée par des apports latéraux provenant des versants situés en amont.

La mise en œuvre de fossés de ceinture et de drains enterrés (nus ou enrobés) permet généralement de maîtriser ce type d'excès d'eau dans des sols qui ont par ailleurs de bonnes potentialités agronomiques.

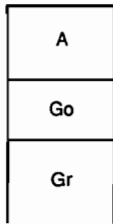
Au plan forestier, les horizons rédoxiques g ou -g ne représentent que rarement un obstacle absolu à l'enracinement des arbres. Les potentialités forestières des RÉDOXISOLS peuvent donc rester excellentes (dépendant plus de leur réserve en eau et de leur niveau trophique que de l'hydromorphie), sauf lorsque la durée d'engorgement devient très longue (jusqu'en juin) et le niveau de saturation proche de la surface. Dans ces derniers cas, se poseront des problèmes de choix d'essences résistantes à l'excès d'eau, de stabilité des arbres et de renouvellement des peuplements. Billonnage et assainissement ne sont utiles que dans ces cas précis.

Une information complémentaire doit être apportée quant à la nature du plancher imperméable qui peut être un matériau meuble (horizon C) ou une roche dure. Eventuellement, l'horizon g peut révéler un excès d'eau par imbibition capillaire.

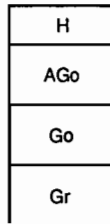
### **Autres qualificatifs utiles**

Pour préciser un Type et pour enrichir l'information à transmettre, il est possible d'utiliser en outre toute une série de **Qualificatifs** spécifiques des excès d'eau (cf. liste p. 73) ou non spécifiques, tels que :

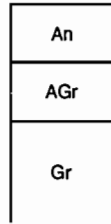
- histique, à anmoor, brunifié, humifère,
- subsaturé, mésosaturé, oligo-saturé, calcique, calcaire,
- fluvique, colluvial, de polder,
- argileux, sableux, limono-graveleux,
- cultivé, sous prairie, rizicultivé,
- de bas de versant, de fond de vallon, de plateau, etc.



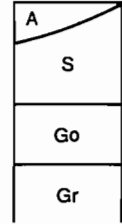
RÉDUCTISOL  
TYPIQUE



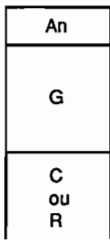
RÉDUCTISOL  
TYPIQUE  
histique,...



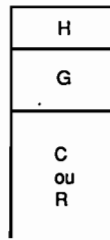
RÉDUCTISOL  
TYPIQUE  
à anmoor,...



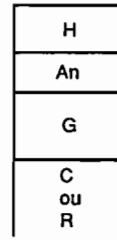
RÉDUCTISOL  
TYPIQUE  
brunifié,...



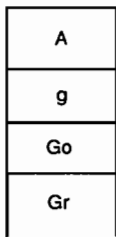
RÉDUCTISOL  
STAGNIQUE  
à anmoor,...



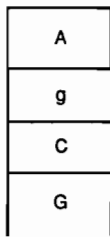
RÉDUCTISOL  
STAGNIQUE  
histique,...



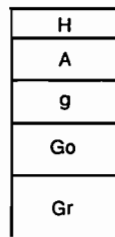
RÉDUCTISOL  
STAGNIQUE  
histique, à anmoor,...



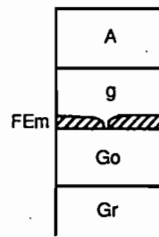
RÉDUCTISOL  
DUPLIQUE



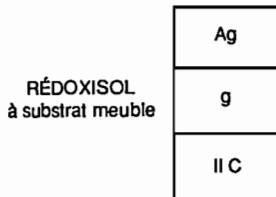
RÉDUCTISOL  
DUPLIQUE



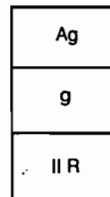
RÉDUCTISOL  
DUPLIQUE  
histique,...



RÉDUCTISOL  
DUPLIQUE  
péto-ferrique,....



RÉDOXISOL  
à substrat meuble



RÉDOXISOL  
à substrat rocheux



# LEPTISMECTISOLS

J. Boullain et Groupe de Travail Vertisols

Solums peu épais, dont tous les horizons sont argileux (plus de 40 % d'argile), smectitiques et présentent des propriétés verticales (cf p. 50).

L'horizon de surface présente à sec une structure franchement polyédrique fine très bien développée, analogue à celle de l'horizon Av ou LAv des VERTISOLS. Le deuxième horizon, à structure plus grossière est analogue à l'horizon SV des VERTISOLS. En revanche, il n'existe pas d'horizon V à structure typiquement sphéroïde. Le solum est souvent limité en profondeur soit par une roche dure et massive, carbonatée ou non (couche R), soit par un encroûtement calcaire (horizon Kc ou Km).

Solum diagnostique : Av ou LAv / SV / R ou Kc ou Km ou C.

L'épaisseur de Av + SV est inférieure ou égale à 50 cm. Pas d'horizon V.

Les minéraux argileux sont des smectites souvent ferrifères. La CEC de l'argile est élevée et le complexe adsorbant est saturé à plus de 90 % par Ca<sup>++</sup> et/ou Mg<sup>++</sup>.

Ce sont, en quelque sorte, soit des proto-VERTISOLS soit des VERTISOLS avortés. Souvent, la teneur en calcaire du matériau originel est trop élevée, soit que le solum n'a pas encore eu le temps de s'épaissir, soit que le calcaire constitue un encroûtement massif. Ces sols étaient nommés « sols calciques mélanisés » dans la Classification des Sols CPCS de 1967. On les observe sur roches carbonatées (calcaires, marnes) dont les constituants non carbonatés sont des argiles gonflantes. Ils existent aussi sur basaltes, tufs, serpentinites, etc. Les smectites sont alors néoformées.

Dans les paysages ondulés, sur marnes ou alluvions argileuses, il est fréquent que les bas-fonds soient occupés par des TOPOVERTISOLS et les interfluves par des LEPTISMECTISOLS. Des glissements en masse s'observent souvent suite à l'existence d'une surface de décollement entre les horizons SV et la couche sous-jacente, où circulent les eaux.

## Propriétés

- terres à céréales en zones à climat contrasté et chaud,
- bonnes aptitudes sylvicoles,



- propriétés géotechniques bonnes (à la différence des VERTISOLS associés)
- l'érosion en nappe est possible, mais les griffes sont contrôlées par un sous-sol résistant.

### Qualificatifs utiles

<b>lithique</b>	présence d'une roche dure (Mexique, Italie, Espagne, Afrique du Nord, Beauce)
<b>calcaire ou pétrocalcaire</b>	présence d'un horizon Kc ou Km (Afrique du Nord : tirs à croûte)
<b>altéritique</b>	présence d'un horizon C (sur basaltes et roches cristallines basiques ou ultrabasi-ques).

# LITHOSOLS

D. Baize

## Définition

Solums très minces limités en profondeur par un matériau cohérent, dur et continu (roche non altérée ou horizons pédologiques durcis) situé à 10 cm de la surface ou moins (horizon OL non compté).

## Solum

N'importe quel horizon pédologique ou une couche M par-dessus une couche R ou un horizon Km, FEm, une carapace ou une cuirasse ferrugineuse. Il est pratiquement impossible d'approfondir le sol avec les outils agricoles habituels.

## Qualificatifs utiles

<b>strict</b>	roche massive nue (moins de 1 kg de terre fine par m <sup>2</sup> )
<b>anthropique</b>	(par exemple fond de carrière)
<b>holorganique</b>	horizon supérieur holorganique
<b>pétrocalcaire</b>	obstacle constitué par un horizon Km
<b>pétroferrique</b>	obstacle constitué par un horizon FEm
<b>ferrugineux</b>	obstacle constitué par une cuirasse ou une carapace ferrugineuse
<b>de hammada</b>	type particulier des déserts chauds
<b>blocailleux</b>	obstacle constitué par entassement de blocs
<b>régosolique</b>	solum = couche M ou D/couche R
<b>de lézine</b>	terre fine localisée à des fissures ou crevasses dans des couches R calcaires
<b>à couche R fissurée</b>	
etc.	



# LUVISOLS

M. Jamagne

## Généralités

Seront rattachés aux LUVISOLS les solums dont la nette différenciation morphologique résulte du processus **d'illuviation d'argile**, cette différenciation s'avérant un facteur prédominant dans leur comportement et fonctionnement. Des déplacements d'argile peuvent être observés dans d'autres Références mais, dans ce cas, soit ils sont de faible importance et/ou amplitude, soit ils constituent un processus secondaire par rapport à un autre processus considéré comme dominant.

Les LUVISOLS sont donc caractérisés par l'importance prise par les processus d'illuviation d'argile au sein d'un matériau originel unique (sans discontinuité lithologique importante), avec accumulation au sein du solum. La principale conséquence de ce mécanisme est une différenciation morphologique nette entre :

- des horizons supérieurs appauvris en argile et en fer, moins colorés, moins bien structurés, généralement assez perméables (horizons E) ;
- et des horizons plus profonds, enrichis en argile et en fer, à structure bien développée polyédrique ou prismatique, plus colorés, moins perméables (horizons BT).

Le lessivage des cations alcalins et alcalino-terreux et la dynamique du fer et de l'aluminium sont des conditions importantes de leur évolution. En outre, le fer reste associé à l'argile, tant que les processus de réduction sont négligeables.

Dans la Classification CPCS de 1967, les LUVISOLS constituaient un Groupe des « Sols lessivés » au sein de la classe des « Sols brunifiés ». Depuis lors, nombre de connaissances nouvelles ont été acquises, notamment :

- importance de la nature des processus d'altération initiale, préparant les possibilités de déplacement des particules ;
- dégradation morphologique, géochimique et minéralogique des horizons BT ;
- accumulations relatives et absolues de certains constituants ;
- connaissance de la dynamique des argiles fines ;

- phases successives dans le déplacement des particules : argiles fines d'abord, argiles grossières et fractions limoneuses ensuite ;
- microdivision des particules limoneuses.

Le climat est un facteur important dans la formation des LUVISOLS, le climat atlantique étant plus profondément « lessivant » que le climat continental, mais un facteur déterminant de la rapidité et de l'intensité de la différenciation paraît être la nature de la roche-mère. Les plus favorables à l'argilluviation sont les matériaux sédimentaires meubles, profonds, suffisamment filtrants (mais sans excès), non ou peu calcaires. Les plus caractéristiques sont les formations limoneuses, notamment éoliennes, de tous âges. La majorité des LUVISOLS sont des sols relativement épais.

Les caractéristiques des horizons E appauvris et des BT enrichis en argile (structure, profondeur d'apparition et épaisseur des horizons d'accumulation) peuvent être sensiblement différents selon que les LUVISOLS se sont développés à partir de matériaux originellement sablo-limoneux, limoneux, limono-argileux, argilo-sableux...

Les LUVISOLS sont donc caractérisés par un solum diagnostique E/BT. Ils sont essentiellement développés dans des matériaux dominés par des constituants dits « siallitiques » répondant aux caractéristiques suivantes, déterminées dans l'horizon BT :

- plus de 10 % de minéraux argileux 2/1 dans la fraction < 2 µm ;
- CEC de la fraction argile (< 2 µm) supérieure à 24 cmol<sup>+</sup>/kg ;
- moins de 3 % de fer « libre » (exprimé en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et dosé par les méthodes D-C-B ou Mehra-Jackson).

L'horizon BT est un horizon enrichi en argile, et tout particulièrement en argile fine. Un des critères de son degré de développement est la notion d'Indice de Différenciation Texturale (IDT) : rapport entre la teneur en argile maximale dans le BT et la teneur minimale dans l'horizon E sus-jacent.

### Le processus de « dégradation »

La notion de « dégradation » des sols lessivés est utilisée depuis de nombreuses années sans qu'une définition suffisamment précise en soit fournie. Plusieurs aspects peuvent être évoqués :

- **aspect morphologique** : nette concentration relative dans le E et dans des langues s'insinuant au sein de la partie supérieure du BT (« glosses ») de matériaux siliceux de la taille des limons ou des sables ;
- **aspect géochimique** : dissociation, au sein du plasma, du fer et des argiles, d'où des dynamiques et redistributions relativement indépendantes de ces deux constituants ;
- **aspect minéralogique** : ouverture des phyllites 2/1 suivie de leur transformation progressive par vermiculitisation et hydroxy-aluminisation éventuelle.

Ces deux derniers mécanismes apparaissent essentiellement à la base de l'horizon E et dans la partie supérieure des glosses.

Trois types de dégradation morphologique ont été répertoriés : glossique, planosolique ou diffuse. La dernière constituerait une transition vers les deux autres types, liée soit à une microstructure particulière du matériau (nature et conditions de mise en place), soit à un stade initial du processus. Les deux autres types constitueraient deux voies d'évolution distinctes, dépendant étroitement du potentiel structural des matériaux :

- une voie « glossique » dans des matériaux à potentiel de structuration élevé,
- une voie « planosolique » dans des matériaux à potentiel de structuration faible.

### **Les sols « derno-podzoliques »**

Les sols « derno-podzoliques » apparaissent très proches des « sols lessivés glossiques » de la CPCS et des « Glossudalfs » de la *Soil Taxonomy*. Leur solum diagnostique est du type E/BT, ce BT présentant systématiquement des caractères de dégradation.

Au plan morphologique, un liseré très délavé existe au contact E/BTd, plus prononcé que dans les sols glossiques atlantiques, et une tendance à la planosolisation est marquée pour les plus évolués d'entre eux. La profondeur d'apparition du BT et l'épaisseur des horizons est plus faible, liée à la concentration des processus dans la partie supérieure du solum, sous l'influence du régime climatique continental.

Ces processus (dissociation fer-argile, dissociation squelette/plasma, altération hydrolytique, dégradation minéralogique) y sont plus intenses dans un volume plus restreint. La désaturation est généralement très importante en surface, mais beaucoup plus modérée, et quelquefois même absente en profondeur. La migration des argiles fines est particulièrement importante, occasionnant des IDT presque toujours supérieurs à 2.

Une référence de LUVISOLS DERNIQUES se justifie ainsi sur la base de ce fonctionnement géochimique particulier lié aux conditions climatiques, anciennes et actuelles.

Les LUVISOLS DÉGRADÉS ou DERNIQUES très nettement planosoliques et à forte différenciation texturale seront rattachés aux PLANOSOLS texturaux s'ils présentent les caractères exigés.

### **Horizons de référence**

Sauf troncature du solum, on rencontre toujours les horizons majeurs E et BT. On pourra observer souvent des horizons O, A, LA, Eg, LE, LBT, BTg, BTd, BTgd ou C ; parfois Ea, BTfe (cf. chap. définitions des horizons). Ne seront rappelées ici que les définitions des horizons BT, BTd et LBT.

### Horizon BT (horizon B argilluvial ; anciennement B « textural »)

Horizon qui contient des argiles phylliteuses illuviales et qui se forme en relation avec un horizon éluvial E lequel se trouve au-dessus de lui ou en amont. Le BT peut se trouver en surface si le solum a été partiellement tronqué. Il présente les caractères suivants :

- une teneur en argile supérieure à celle des horizons A, E, S ou C qui sont présents dans le même solum ;
- une épaisseur d'au moins 15 cm. S'il est composé entièrement de « bandes », leur épaisseur doit être égale ou supérieure à 1 cm et atteindre, au total, 15 cm ;
- dans les sols à structure particulaire, l'horizon BT doit présenter des argiles orientées reliant les grains de sables entre eux et décelables également dans certains pores ;
- lorsqu'il existe des agrégats (cubes, polyèdres, prismes), présence de nombreux revêtements argileux sur certaines surfaces : faces d'agrégats verticales et horizontales, chenaux, canalicules. Une observation microscopique est souvent nécessaire. Il s'agit de matières essentiellement argileuses et ferriques, généralement bien orientées par rapport aux parois et dont la nature et l'organisation contrastent par rapport à la matrice.

Très souvent, dans leur déplacement, les particules argileuses sont accompagnées par des particules limoneuses fines. Dans certaines circonstances particulières (milieu dominés par le gel), cette illuviation de particules limoneuses peut devenir dominante (qualificatif limono-illuvial).

### Horizon BTd (BT « dégradé »)

Horizon BT présentant une « dégradation morphologique » sous une forme diffuse, sous forme d'**interdigitations** ou sous la forme de pénétration de **langues**.

L'interdigitation désigne des pénétrations d'un horizon E dans un horizon BT sous-jacent le long des faces des unités structurales, essentiellement verticales. Ces pénétrations ne sont pas assez larges pour constituer des langues, mais forment des concentrations relatives continues d'éléments du squelette.

Pour être appelées langues, ces pénétrations doivent être plus profondes que larges, avoir des dimensions horizontales minimales dépendant de la texture de l'horizon BT : de 5 mm dans les matériaux argileux à 15 mm dans les matériaux limoneux à sableux, et présenter une occupation en volume supérieure à 15 % de la partie de l'horizon BT affectée.

### Horizon LBT (BT labouré)

Horizon BT se présentant en surface suite à une troncature partielle du solum par érosion et remanié régulièrement par des actions culturales. Les

caractéristiques typiques du BT sont associées à celles des horizons labourés : teneur en matières organiques plus élevée, artificialisation de la structure, prise en masse éventuelle.

## 7 Références

### NÉOLUVISOLS (« sols bruns lessivés » de la Classification CPCS)

Solum diagnostique :     A/E/BT sous forêts.  
                                   LA/E/BT ou LA/BT sous cultures.

L'horizon E est modérément appauvri, encore assez coloré, assez bien structuré et aéré. Le BT correspond à la définition du BT typique.

La transition entre E et BT est assez progressive.

- Si la teneur en argile de E < 10 %, alors la teneur en argile de BT est au moins égale à celle de E + 3 %.

- Si la teneur en argile de E est comprise entre 10 et 30 %, alors IDT doit être compris entre 1,3 et 1,8.

- Si la teneur en argile de E > 30 %, alors la teneur en argile de BT est au moins égale à celle de E + 9 %.

### LUVISOLS TYPIQUES (« sols lessivés » de la Classification CPCS)

Solum diagnostique :     A/E/BT sous forêts.  
                                   LA ou LE/E/BT ou  
                                   LA ou LE/BT sous cultures.

L'horizon E est nettement appauvri en argile et en fer. Il est décoloré, peu structuré ou à structure instable.

Le BT est typique, avec un rapport argile fine sur argile grossière plus élevé que pour la référence précédente.

La transition entre E et BT est nette.

- Si la teneur en argile de E < 10 %, alors la teneur en argile de BT est au moins égale à celle de E + 8 %.

- Si la teneur en argile de E est comprise entre 10 et 30 %, alors IDT doit être > 1,8.

- Si la teneur en argile de E > 30 %, alors la teneur en argile de BT est au moins égale à celle de E + 24 %.

### LUVISOLS DÉGRADÉS (« sols lessivés glossiques » de la classification CPCS)

Solum diagnostique :     A/E/Eg/BTgd sous forêts.  
                                   LE/Eg/BTgd ou LE/BTgd sous cultures.

L'horizon E est fortement décoloré, particulièrement au contact de l'horizon BT ainsi qu'au sein des langues qui pénètrent ce BT. Il est donc, au moins



partiellement, « albique ». La présence, à la partie inférieure de cet horizon E, de concentrations et indurations de sesquioxydes fossilisant des reliques du BT, est fréquente, justifiant le codage -g.

Le BTgd présente des langues et/ou des digitations en prolongement de l'horizon E, dont la texture en est semblable ou proche, sensiblement appauvrie par rapport à la matrice de l'horizon BT. Cette matrice peut elle-même être tachetée de zones de « dégradation diffuse » correspondant à des sites préférentiels.

L'IDT est supérieur à 1,8 (cf.ci-dessus).

La présence d'horizons -g est incluse dans la définition de la Référence. Si -g apparaît à moins de  $50 \pm 10$  cm de profondeur, le solum sera désigné comme LUVISOL-RÉDOXISOL dégradé (rattachement double).

#### **LUVISOLS DERNIQUES (« sols derno-podzoliques » des auteurs russes)**

Solum diagnostique : A/E/Ea/BTd

L'horizon E peut généralement être subdivisé en deux parties : une partie supérieure répondant à la définition générale des E et une partie inférieure nettement albique.

Les horizons E présentent des individualisations et répartitions particulières de constituants : sesquioxydes et fractions squelettiques, ainsi que différents traits d'appauvrissement en fonction de l'intensité des processus de dégradation liés aux régimes pédoclimatiques.

De même, des différences significatives apparaissent au sein des horizons BTd (nombreuses concentrations de « squelettanes »).

L'IDT est supérieur à 1,8 et souvent nettement plus élevé.

Si un horizon Eg débute à moins de  $50 \pm 10$  cm de profondeur, le solum sera désigné comme LUVISOL-RÉDOXISOL dernique (rattachement double).

#### **LUVISOLS TRONQUÉS**

Ces solums ne présentent plus le couple E + BT (donc le contraste textural) caractéristique des LUVISOLS, par suite d'une troncation partielle et de l'ablation des horizons éluviaux.

Solum diagnostique : A/BT sous forêts, LBT/BT sous cultures.

Pas d' horizon E de plus de 10 cm, sous forêts.

Sous cultures, l'horizon labouré doit avoir plutôt les propriétés texturales et structurales d'un BT que d'un E.

### **Références apparentées aux LUVISOLS**

#### **QUASI-LUVISOLS**

Solum diagnostique E/II BT où E est un matériau pédologique déplacé sur une assez longue distance (quelques hectomètres ou plus) et où BT est un vrai horizon BT, demeuré en place et présentant de nombreux revêtements argileux.

**PSEUDO-LUVISOLS**

Suite à la superposition d'horizons supérieurs plutôt limoneux ou sableux et d'horizons plus profonds nettement plus argileux, les PSEUDO-LUVISOLS simulent la morphologie d'un LUVISOL et ils en ont *grosso modo* le comportement. Mais on sait, par ailleurs, que la formation de tels solums est le résultat de deux dépôts successifs (discontinuité lithologique).

**Qualificatifs utiles pour les LUVISOLS**

(détermination de T par  $\text{NH}_4\text{Ac}$  à pH 7)

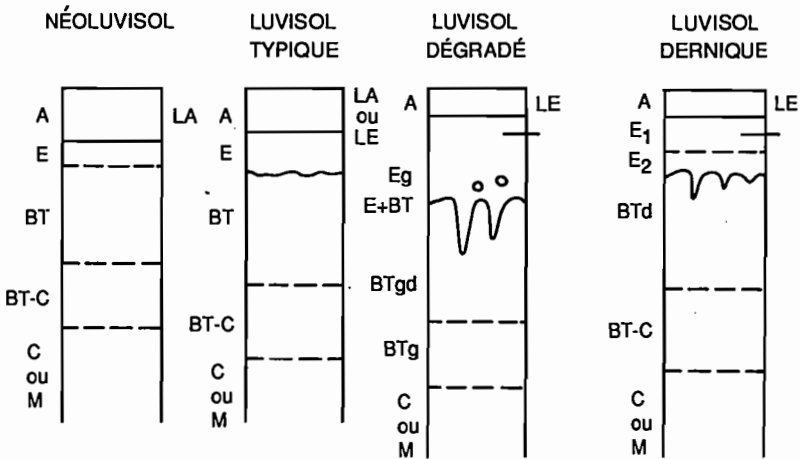
<b>eutrique</b>	S/T > 50 % dans l'horizon BT.
<b>dystrique</b>	S/T < 50 % dans l'horizon BT.
<b>subsaturé</b>	S/T compris entre 80 et 95 % dans l'horizon BT en conditions naturelles.
<b>mésosaturé</b>	S/T compris entre 50 et 80 % dans l'horizon BT.
<b>oligo-saturé</b>	S/T compris entre 20 et 50 % dans l'horizon BT.
<b>resaturé</b>	S/T > 80 % sur l'ensemble du solum (sous l'influence d'amendements).
<b>sodisé</b>	$\text{Na}^+/\text{T} > 6$ % dans tout ou partie de l'horizon BT.
<b>rédoxique</b>	caractère rédoxique (-g) apparaissant entre 50 et 80 cm de profondeur.
<b>agrique</b>	revêtements d'argile associée à des matières organiques dans l'horizon BT, liés à la mise en culture.
<b>vertique</b>	caractères vertiques à la base de l'horizon BT.
<b>fragique</b>	présence d'un horizon BTx (fragipan).
<b>ferrugineux</b>	à horizon BT riche en nodules et/ou en enduits ferrugineux (BTfe).
<b>pachique</b>	horizon BT débutant à plus de 1 m de profondeur.
<b>cumulique</b>	il y a épaississement anormal des horizons E par rapport à la norme locale ou régionale (transition vers des sols franchement colluviaux en domaine limoneux, par exemple).

Pour les LUVISOLS DÉGRADÉS et LUVISOLS DERNIQUES

<b>albique</b>	à horizon E albique.
<b>glossique</b>	la dégradation est sous forme glossique et S/T < 50 % dans l'horizon BT.
<b>planosolique</b>	la dégradation présente une morphologie à tendance planosolique (aplanissement de la limite E/BT).
<b>à dégradation diffuse</b>	la « dégradation » présente un aspect en taches et interdigitations.
<b>à micro-podzol</b>	processus de podzolisation à la partie supérieure du solum.
<b>podzolisé</b>	processus de podzolisation vraie dans l'horizon E.
<b>à hydromorphie fossile</b>	une morphologie hydromorphe correspond à des conditions d'évolution anciennes et non plus à un fonctionnement actuel.

**Exemples de types**

LUVISOL TYPIQUE	eutrique, rédoxique, agrique, issu de limon récent
LUVISOL-RÉDOXISOL	fragique, dystrique, ferritique, issu de limons anciens
LUVISOL DÉGRADÉ	glossique, drainé, resaturé, limono-sableux en surface
LUVISOL DÉGRADÉ	planosolique, dystrique, albique, d'alluvions anciennes
NÉOLUVISOL	resaturé, cumulique, agrique, issu de lœss
LUVISOL DERNIQUE	dystrique, rédoxique
LUVISOL TRONQUÉ	eutrique, de rebord de plateau, issu de lœss
PSEUDO-LUVISOL	subsaturé, colluvial, de versant, limono-argileux en surface



**Relations avec d'autres GER**

**Différence avec les BRUNISOLS**

Solum E/BT ou E/BTd présentant un IDT supérieur à 1,3.

**Différence avec les PLANOSOLS**

Absence du changement textural brusque requis pour les PLANOSOLS.

**Relation avec les RÉDOXISOLS**

Les LUVISOLS « à caractères hydromorphes » présentent des solums E ou Eg/BTg, ou E ou Eg/BTgd dont la dynamique hydrique ne provoque cependant pas d'engorgement saisonnier prolongé dans l'horizon E. Si l'hydro-

morphie est plus intense en relation avec un engorgement plus long, et qu'elle apparaît à moins de 50 cm de la surface, on pratiquera de préférence le rattachement double aux LUVISOLS-RÉDOXISOLS.

### **Différences avec les FERSIALSOLS**

Les horizons FS fersiallitiques présentent souvent des traits d'illuviation d'argile. On peut donc concevoir une transition progressive entre LUVISOLS et FERSIALSOLS ÉLUVIQUES. Les LUVISOLS seront distingués notamment :

- par leur teneur en fer « libre » (dosé par la méthode D-C-B ou Mehra-Jackson, exprimé en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) de l'horizon BT inférieure à 3 % ;
- par leur couleur moins rouge que 5 YR ;
- par des considérations de structure (structure non micro-polyédrique dans l'horizon BT).



# ORGANOSOLS

M.C. Girard et J. Boulaine

Les ORGANOSOLS sont constitués uniquement d'horizons organiques O et/ou d'horizons A hémiorganiques (c'est-à-dire contenant plus de 8 % de carbone organique), en milieu aérobie bien ou assez bien drainant. Ces horizons ont, au total, plus de 10 cm d'épaisseur.

Solum diagnostique :      O/C ou R  
                                  ou            O/Ah / C ou R  
                                  ou            Ah/ C ou R      (Ah à plus de 8 % de carbone)

Le rapport S/T est déterminé prioritairement dans l'horizon Ah (s'il existe), sinon dans l'horizon OH ou OF.

De minces horizons organo-minéraux (horizons E, S, BP, etc. ) sont tolérés mais ils doivent faire moins de 10 cm d'épaisseur au total et l'ensemble des horizons [O + Ah] doit avoir une épaisseur supérieure au double de celle des horizons organo-minéraux.

*Exemple* : un solum O/S/C dans lequel S a 10 cm. Pour être rattaché aux ORGANOSOLS, ce solum doit présenter des horizons O d'au moins 20 cm d'épaisseur. Un même solum dont l'horizon O présente une épaisseur de 40 cm mais dont l'horizon S est épais de 15 cm, ne peut pas être rattaché de façon « parfaite » aux ORGANOSOLS (rattachement « imparfait » ou rattachement à une autre Référence : BRUNISOLS, ALOCISOLS, CALCISOLS, CALCOSOLS, etc.).

## 4 Références

### ORGANOSOLS CALCAIRES

Ils comportent un horizon Acah (à plus de 8 % de carbone organique) ou bien seulement des horizons O à éléments grossiers calcaires. Si le taux de carbone dans l'horizon Acah est inférieur à 8 %, le solum doit être rattaché à d'autres Références, éventuellement à des RENDOSOLS humifères.

**ORGANOSOLS CALCIQUES**

ORGANOSOLS non carbonatés dont le complexe adsorbant de l'horizon Ah est saturé ou sub-saturé ( $S/T > 80\%$ ) et le rapport  $Ca^{++}/Mg^{++}$  est  $> 5$ .

**Qualificatifs utiles pour les deux Références ci-dessus**

<b>leptique</b>	épaisseur de [O + Ah] inférieure à 40 cm
<b>à tangel</b>	présence d'un horizon OHta
<b>à charge calcaire</b>	(ORGANOSOLS CALCIQUES) si des éléments grossiers calcaires sont présents dans l'horizon O ou Ah.

**ORGANOSOLS INSATURÉS**

ORGANOSOLS non carbonatés dont le rapport S/T est  $< 80\%$  sur au moins 20 cm à partir de la surface. Bien drainés au moins jusqu'à 50 cm.

Différences avec les RANKOSOLS :

- un ORGANOSOL INSATURÉ n'est pas forcément limité à 40 cm d'épaisseur ;
- le solum [O + Ah] comporte plus de 8 % de carbone organique dans sa totalité ;
- la présence d'éléments grossiers n'est pas obligatoire ;
- la roche sous-jacente peut éventuellement être calcaire.

**Qualificatifs utiles pour les ORGANOSOLS INSATURÉS**

**mésosaturé, oligo-saturé, désaturé, etc.**

**podzolisé** des horizons E et BP peuvent être décelés, mais sur moins de 10 cm d'épaisseur au total.

**leptique** épaisseur de [O + Ah] inférieure à 40 cm.

**pachique** épaisseur de [O + Ah] supérieure à 80 cm.

**ORGANOSOLS TANGELIQUES**

L'horizon de référence obligatoire est un OHta très épais. Il doit y avoir en outre contact lithique avec un substrat dur carbonaté ou toute autre roche basique massive.

Solum diagnostique : OL/OF/OHta (de 5 à 45 cm d'épaisseur)/Rca

Les deux premiers horizons OL et OF ont tendance à devenir plus épais (quelques centimètres) en altitude et dans les climats plus froids. Ils déterminent alors la germination des graines.

Les ORGANOSOLS TANGELIQUES sont fréquents dans les forêts des montagnes humides (Jura, Alpes, Pyrénées) sur roches dures, massives, s'altérant essentiellement par dissolution (calcaire non gélif ou roche basique massive non encore altérée). Positions sur plateaux ou sur pentes faibles.

Le climat est humide et suffisamment chaud et lumineux pour fournir une biomasse abondante. L'optimum correspond aux plateaux du Jura avec 1 500 à 2 500 mm de précipitations moyennes annuelles, l'absence de toute saison sèche et une température moyenne annuelle de  $8 \pm 3$  °C. La végétation est une forêt de conifères (épicéas, sapins) et de hêtres, tilleuls avec sous-bois de myrtilles, fougères, etc.

Ces sols sont réservés à la forêt. Ils ont, en climat humide et lumineux, une très bonne productivité (jusqu'à 20 m<sup>3</sup>/ha/an). Ils sont sensibles à l'érosion. Sous-bois de myrtilles (cueillette). La circulation est en général très difficile.

Les ORGANOSOLS TANGELIQUES occupent fréquemment des zones karstiques caractérisées par des calcaires durs non gélifs à réseaux de « lézines » (fissures profondes, 10 à 20 cm de large sur plusieurs mètres de profondeur). Ces fissures sont remplies par des matériaux holorganiques plus ou moins saturés en bases, qui conditionnent la fertilité du milieu dans son ensemble.

## Exemples de types

ORGANOSOL CALCAIRE	à amphotull, issu d'éboulis caillouteux.
ORGANOSOL CALCIQUE	argileux, de versant, à amphotull.
ORGANOSOL INSATURÉ	oligo-saturé, à dysmoder, de pente.
ORGANOSOL TANGELIQUE	à lézines, sur calcaire dur.
ORGANOSOL-ALOCRISEL	(rattachement double).





# PÉLOSOLS

D. Baize

## Caractères spécifiques - Pédogenèse

Il s'agit de sols très riches en argile granulométrique avec, en outre, une grande abondance de limons fins. Mais tous les sols très argileux ne sont pas des PÉLOSOLS. Outre une forte teneur en argile, les PÉLOSOLS se distinguent par deux autres caractères spécifiques :

- faible évolution des minéraux argileux,
- comportement structural particulier, défavorable à l'agriculture.

En effet, les minéraux argileux résultent d'un héritage direct à partir de sédiments argileux. Il y a eu peu d'évolution aux plans minéralogiques et chimiques. On se trouve en effet face à une quantité d'argile considérable qui constitue un frein à l'évolution et à l'altération. Lorsque la roche-mère est calcaire, la partie supérieure du solum est décarbonatée. La libération du fer est inférieure à celle observée chez les BRUNISOLS.

Il s'agit donc de sols assez jeunes qui se sont encore assez peu différenciés de leur roche-mère (évolution « sédimorphe »).

Il arrive souvent que l'horizon de profondeur moyenne Sp soit plus argileux que la roche-mère sous-jacente. Pour expliquer ce fait on peut faire appel soit à une accumulation relative d'argile après décarbonatation de la roche-mère, soit à une argilogenèse *in situ* par microdivision de minéraux illitiques de la dimension des limons fins.

Dans certains cas, on note une différenciation texturale des horizons de surface, laquelle pourrait indiquer une transition vers les PLANOSOLS. Dans les 30 premiers centimètres du solum, des argiles fines sont entraînées et évacuées latéralement en suspension d'où l'existence éventuelle d'un horizon E. Mais existent aussi des solums à deux couches, les horizons de surface moins argileux résultant de contaminations limoneuses.

## Comportements structural et hydrique

En été, s'ouvrent de larges et profondes fissures. Celles-ci se referment en période humide. Les caractères vertiques indiquent l'existence de glissements

et de phénomènes de compressions, mais sans pédoturbation généralisée comme dans le cas des véritables VERTISOLS.

En période humide, la structure polyédrique de l'horizon Sp se manifeste encore morphologiquement mais cet horizon devient très imperméable (absence de macro-porosité et « architecture » très « ajustée » des agrégats). Les horizons de surface s'engorgent. L'horizon cultural, lorsqu'il est argileux, se divise sous l'influence du gel en micro-polyèdres très anguleux, mais seulement sur les premiers centimètres.

La base de l'horizon labouré demeure longtemps un lieu d'engorgement où la structure est très fragile : tout travail réalisé à l'état humide entraîne une sorte de prise en masse. Après une phase d'évapotranspiration plus ou moins intense l'horizon cultural a tendance à durcir. On passe ainsi très rapidement du « mastic » au « béton ».

Sous forêts comme sous cultures, en période humide, les eaux météoriques s'accumulent au contact d'un plancher structural : à la base d'un A (sous forêt), d'un E ou à la base de l'horizon cultural. Si la pente est suffisante, elles peuvent y circuler. C'est pourquoi de fortes pluies peuvent être évacuées rapidement lorsque le sol est drainé. Une petite partie des eaux de pluies pénètre plus profondément, atteint les horizons C et circule alors latéralement selon la schistosité de la roche-mère.

La forte teneur en argile intervient d'une façon très spécifique sur la micro-flore, donc sur l'évolution biochimique. L'horizon cultivé contient une matière organique à dynamique d'évolution relativement lente (biomasse microbienne).

## Horizons de référence

L'horizon Sp est obligatoire. De plus de 30 cm d'épaisseur, il débute dès la surface ou bien immédiatement sous un horizon A, ou bien dans les 40 premiers centimètres du solum.

L'horizon S pélosolique est donc l'horizon caractéristique des PÉLOSOLS. Très argileux (plus de 45 % d'argile), il présente à l'état humide une structure polyédrique anguleuse bien développée et une sur-structure prismatique ou polyédrique grossière bien visible en période sèche. Les fentes de retrait sont bien marquées en été, les caractères vertiques presque toujours présents, plus ou moins visibles selon la saison. Cet horizon n'est jamais calcaire, même sur roches-mères calcaires ; il peut être encore saturé ou plus ou moins insaturé. Le passage à l'horizon C sous-jacent est progressif et se manifeste surtout par un élargissement de la structure (horizon SC).

Un horizon E existe dans certains cas (PÉLOSOLS DIFFÉRENCIÉS). Il doit contenir moins de 30 % d'argile et ne doit pas excéder 30 cm d'épaisseur. Sous forêts, il est souvent masqué par la matière organique et se confond alors avec l'horizon A. Quand il existe, il passe progressivement à l'horizon Sp et n'a jamais l'aspect albique des horizons E de certains PLANOSOLS.

Les solums diagnostiques peuvent être :

sous forêts

A/Sp/SC/C

ou A/E/Sp/SC/C

ou A/E/II Sp/II SC/II C

sous cultures

LSp/Sp/SC/C

ou LS/Sp/SC/C

ou LS/II Sp/II SC/II C

Les signes d'hydromorphie peuvent être nets (taches rouille) ou, au contraire, très discrets.

Les roches-mères peuvent être des marnes ou des argiles sédimentaires, liasiques ou triasiques (souvent gypseuses, dolomitiques et/ou calcaires), des schistes argileux, des argiles lacustres tertiaires...

### 3 Références

#### PÉLOSOLS TYPIQUES

- souvent situés en positions de pentes assez fortes,
- texture argileuse dans tous les horizons (en A ou LS et Sp),
- sous forêts : signes d'hydromorphie discrets ou absents ; horizon A épais de plus de 10 cm et foncé ; l'épisolum humifère est un mull particulier à structure polyédrique assez grossière, très bien développée et très stable ;
- complexe adsorbant saturé ou presque par  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$  ;
- faible altération en Sp (rapport fer libre citrate dithionite/fer total de l'ordre de 0,35), couleur de l'argile non modifiée.

#### PÉLOSOLS BRUNIFIÉS

- texture argileuse dans tous les horizons (en A ou LS et Sp),
- sous forêts : horizons supérieurs à caractères de brunification sur une faible épaisseur (couleur brune, libération de fer amorphe ou crypto-cristallin) ; horizon A grumeleux ou à tendance grumeleuse ; l'épisolum humifère est un mull.

#### PÉLOSOLS DIFFÉRENCIÉS

- texture de l'horizon de surface (A, E ou LE ou L) : limoneuse ou limono-argileuse (moins de 30 % d'argile) ; grande richesse en limons ; structure instable sous cultures ;
- des engorgements temporaires se manifestent à la base du A, du E ou du LS, donc à faible profondeur et provoquent des difficultés d'implantation, de survie et de croissance aux cultures annuelles comme aux essences forestières ;
- horizon de surface insaturé, souvent acide ;
- horizon Sp à taches d'oxydo-réduction (= Spg).

## Qualificatifs utiles

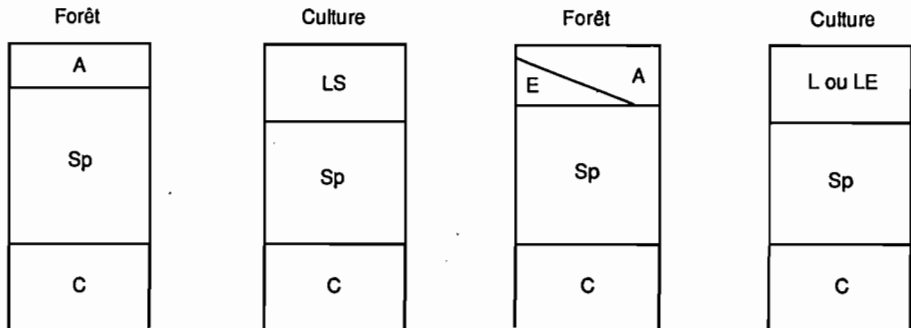
**réductiques, rédoxiques, à horizon réductique de profondeur, à horizon rédoxique de profondeur, etc.**

**pédomorphe**

(PÉLOSOLS DIFFÉRENCIÉS) : les horizons de surface (A et/ou E) ont la même roche-mère que les horizons Sp, SC et C et résultent d'une pédogenèse.

**sédimorphe**

(PÉLOSOLS DIFFÉRENCIÉS) : les horizons de surface (A et/ou E) ont une autre origine que les horizons Sp, SC et C et résultent d'un dépôt plus récent (solum A et/ou E/II Sp/II C).



PÉLOSOLS TYPIQUES et  
PÉLOSOLS BRUNIFIÉS

PÉLOSOLS DIFFÉRENCIÉS

## Relations avec d'autres GER

Différences avec les VERTISOLS :

- pas de néogenèse de smectites à la différence des TOPOVERTISOLS
- pas forcément dominance de smectites
- CEC de la fraction argile souvent < 30 et même souvent < 20 cmol<sup>+</sup>/kg
- caractères vertiques modérés ou faibles
- pas de pédoturbation généralisée, pas de tendance à l'homogénéisation du solum allant à l'encontre de l'horizonation.

## Rattachements doubles

PÉLOSOLS-BRUNISOLS : accroissement de l'altération, apparition d'un horizon S non pélosolique d'épaisseur notable (solum A/S/Sp).

PÉLOSOLS-PLANOSOLS : épaissement de l'horizon E ; passage brusque entre les horizons E et Sp provoquant des engorgements temporaires intenses.

PÉLOSOLS-RÉDOXISOLS : faibles pentes, en positions basses ; hydromorphie du solum généralisée, débutant à moins de 50 cm de la surface.

### **Exemples de types**

PÉLOSOL DIFFÉRENCIÉ	calcique, leptique, pédomorphe, cultivé, de marnes calloviennes (Woëvre)
PÉLOSOL TYPIQUE	désaturé, pachique, cultivé, drainé, d'argile lacustre éocène (Cher)
PÉLOSOL BRUNIFIÉ	calcique, cultivé, drainé, d'argiles hettangiennes (« La Bouzule »)
PÉLOSOL TYPIQUE	magnésique, cultivé, drainé, de marnes versicolores (Plateau Lorrain)



# PEYROSOLS

D. Baize et J. Boulaine

## Justification

La présence, dès la surface et sur une épaisseur importante, de pierres et/ou de cailloux en grande abondance, est une contrainte majeure à l'utilisation agricole d'un sol. C'est également une contrainte à d'autres utilisations non agricoles. Lorsque pierres et/ou cailloux dépassent un certain taux, la priorité sera donnée à ces éléments très grossiers et le rattachement se fera à l'une ou l'autre des Références de PEYROSOLS.

L'accumulation de débris rocheux abondants a également une signification pédogénétique et géomorphologique qu'on ne peut négliger. En revanche, il a été jugé que la grande abondance de graviers n'avait pas le même caractère contraignant. Les sols présentant une dominance de graviers pourraient être rapprochés des ARÉNOSOLS graveleux.

## Terminologie

Les termes « pétrosols » et « pétrique » n'ont pas été retenus afin d'éviter la confusion avec le suffixe « pétro- » utilisé pour les horizons pétrocalcaires et pétroferriques = horizons durcis, consécutifs à une accumulation d'origine pédologique. LITHOSOLS était déjà pris, avec un autre sens.

« Cailloutosols », proposé initialement, a attiré de nombreuses critiques. C'est pourquoi nous avons cherché des termes nouveaux et plus euphoniques. La racine cr- (criot, craco, cra, crau, cré, crédo = terrains pierreux) a été abandonnée suite au risque de confusion avec cryo-. Ont été envisagés également LAPIDOSOLS, PERROSOLS et RUDISOLS. Finalement la forme occitane PEYROSOLS a été retenue.

## Définitions préalables

Les éléments lithiques de dimensions comprises entre 0,2 et 2 cm sont appelés **graviers**. Ceux compris entre 2 et 7,5 cm sont appelés **cailloux**. Ceux compris entre 7,5 et 20 cm sont des **pierres**. Au delà de 20 cm, on parle de **blocs**.

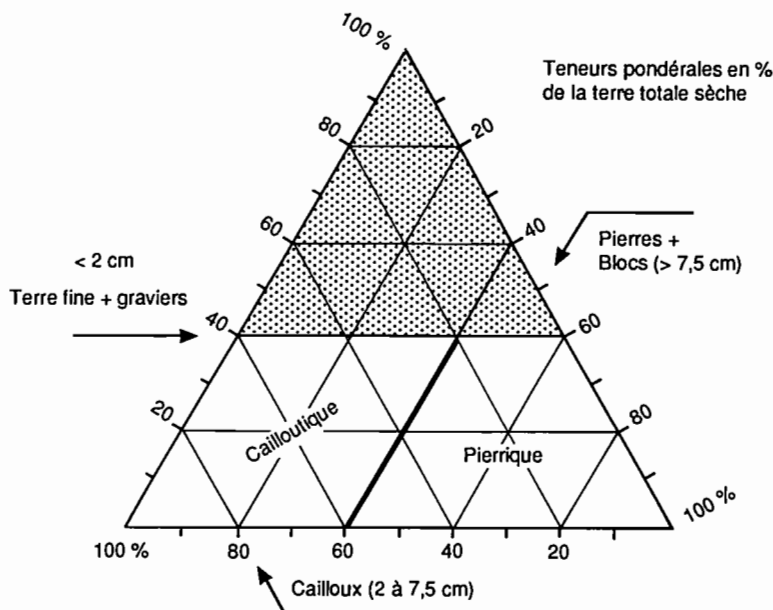


Les teneurs en cailloux, pierres et blocs seront exprimées en poids et en % par rapport à la terre brute totale séchée à l'air. Le poids a été préféré au volume comme étant moins difficile à mesurer en routine.

## Horizons de référence - Solum diagnostique

Présence d'un ou plusieurs horizons comprenant des taux de cailloux et/ou pierres (éléments > 2 cm) supérieurs à 60 % de la terre brute totale. Si le taux de pierres est supérieur à 40 % de la terre brute totale, il s'agit d'un **horizon pierrique** (noté Xp). Si ce taux de pierres est inférieur à 40 %, il s'agit d'un **horizon cailloutique** (noté Xc) (cf. diagramme triangulaire ci-dessous).

*Remarque* : certains horizons du domaine ferrallitique contiennent une très grande quantité de nodules ferrugineux d'origine pédologique. Ces horizons dits « oxy-nodulaires » sont considérés comme des horizons de référence spécifiques du domaine ferrallitique.



Pour être rattaché aux PEYROSOLS, un solum doit être constitué, sur plus de 50 cm à partir de la surface, par des horizons pierriques ou cailloutiques (Xp ou Xc). Les espaces entre les éléments très grossiers peuvent être vides ou occupés par de la terre fine, organique et/ou minérale.

S'il s'agit principalement d'horizons pierriques = PEYROSOL PIERRIQUE, s'il s'agit plutôt d'horizons cailloutiques = PEYROSOL CAILLOUTIQUE.

- Roches-mères** toute roche dure, désagrégée *in situ* ou fractionnée par transport (éboulis, pierriers, alluvions torrentielles, moraines, etc.).
- Végétation** depuis absence de végétation jusqu'à forêt bien développée. Parfois cultures (arboriculture, vigne).

## Qualificatifs spécifiques ou utiles

### Critère d'organisation des éléments grossiers

- à structure lithique** l'organisation de la roche dure est conservée et les vides résultent de l'agrandissement de fissures ;
- entassé** l'organisation de la roche dure n'est plus conservée et les positions des pierres résiduelles ont changé sans qu'une organisation particulière se manifeste ;
- organisé** les pierres ont une organisation, différente de celle des roches constitutives en place ;
- vide** les vides entre les pierres ou cailloux ne contiennent pas de terre fine sur au moins 30 cm depuis la surface ;
- leptique** horizon pierrique ou cailloutique d'épaisseur insuffisante (moins de 50 cm) au-dessus d'une couche M ou R (mais de plus de 10 cm sinon rattachement à LITHOSOLS ou RÉGOSOLS).

### Selon la nature de la terre fine

- fersiallitique** dont la terre fine répond aux normes des horizons FS fersiallitiques (structure, couleur, teneurs en fer, etc.) ;
- holorganique** dont la terre fine est holorganique ;
- acide, très acide, calcaire, dolomitique, calcique, calcimagnésique, etc.**

### Selon la nature ou l'origine des cailloux

- pétrocalcarique** les éléments grossiers sont des débris de croûte calcaire ;
- de granite,**
- de moraine, de calcaire dur, etc.**

## Exemple de types

- PEYROSOL PIERRIQUE entassé, calcaire, humifère, de calcaire dur
- PEYROSOL CAILLOUTIQUE fersiallitique, calcique, fluviatique, à galets granitiques

PEYROSOL CAILLOUTIQUE	organisé, calcaire, de calcaire dur
PEYROSOL PIERRIQUE	leptique, calcaire, à pavage pierrique, sur pente, de calcaire dur (Mont Ventoux)

### Qualificatifs liés aux cailloux et pierres

(à utiliser pour qualifier d'autres Références)

<b>à couverture pierreuse</b>	solum débutant par un horizon pierrique de moins de 20 cm d'épaisseur ;
<b>à couverture caillouteuse</b>	solum débutant par un horizon cailloutique de moins de 20 cm d'épaisseur ;
<b>à pavage</b>	en surface, existe un mince horizon pierrique ou cailloutique, dépourvu de terre fine ;
<b>graveleux</b>	solum ou horizon dont la charge en graviers est > 40 % ;
<b>caillouteux</b>	solum ou horizon dont la charge en cailloux est > 40 % ;
<b>pierreux</b>	solum ou horizon dont la charge en pierres est > 40 % ;
<b>à charge grossière</b>	solum ou horizon dont la charge en éléments de plus de 2 mm est > à 40 % sans que graviers, cailloux ou pierres pris isolément excèdent 40 %.

# PHAEOSOLS

J.P. Rossignol, D. Baize et N. Ninov

## Généralités

Solums de couleur très foncée avec une teneur élevée en matières organiques en surface et qui diminue progressivement vers la profondeur (épisolium à caractère clinohumique). Ces matières organiques présentent un rapport C/N de 8 à 10 et sont très liées à la matière minérale.

Le complexe adsorbant est le plus souvent saturé ou sub-saturé par le calcium dans les horizons S ou BT ( $S/T > 80\%$ ) tandis qu'il est nettement insaturé dans l'horizon de surface sous végétation naturelle ou permanente ( $S/T$  compris entre 50 et 80 %).

Ces sols se développent sur des roches très diverses mais principalement des roches meubles telles que marnes, loess, alluvions, formations superficielles redistribuées. Ils se forment dans des zones à climats à saisons contrastées, avec un hiver pluvieux, frais ou froid et un été chaud, sec et orageux (précipitations moyennes annuelles  $> 600$  mm ; températures moyennes annuelles comprises entre 9 et 17 °C).

La végétation naturelle est de type herbacée avec des bosquets disséminés telle que celle de la prairie des Etats-Unis et du Canada ou celle de la pampa d'Argentine ou d'Uruguay.

Ils ont été observés dans des régions à géomorphologie plane ou ondulée. Ils sont souvent cultivés en céréales (maïs ou blé, selon les régions) mais aussi en plantes sarclées, oléagineux ou vergers. La mise en culture tend à abaisser la teneur en matières organiques de l'horizon A à 2 % environ. La structure de cet horizon peut, dans ces conditions, devenir plus fragile, avec parfois l'apparition de volumes compactés. La fertilité des PHAEOSOLS est généralement bonne, exceptées les situations qui présentent des excès d'eau et de sodium.

Proches des Phaeozems de la Légende FAO, ils correspondent sensiblement aux « Brunizems » de la Classification CPCS de 1967 et aux « Brunosols » de la classification uruguayenne.

## Horizons de référence

Les solums diagnostiques sont (sous végétation permanente) Ahs/Sh ou bien Ahs/BTh.

Des horizons BT sont possibles, mais toujours situés sous l'horizon Sh ou BTh. L'horizon E est interdit.

### L'horizon A sombrique Ahs

Épais de 30 à 50 cm, il présente tous les caractères ci-dessous :

- il est très riche en matières organiques très évoluées qui proviennent de l'humification *in situ* de la litière et des racines les plus fines sous une végétation de prairie ; teneurs en carbone organique > 1,2 % dans les 20 premiers centimètres, généralement entre 1,7 et 3 % sous végétation permanente ; rapport C/N compris entre 8 et 10 ; rapport acides humiques/acides fulviques supérieur à 1 avec une proportion d'humine importante. Les acides humiques sont principalement de type gris ;

- couleur sombre ou noire à l'état humide (*chroma* < 4 et *value* < 4,5 mais 4/3 exclue) ;

- la structure ou la sous-structure est de type polyédrique fine ou très fine (< 5 mm), parfois subangulaire, voire grumeleuse ;

- l'aération est bonne, liée à une grande activité biologique ;

- horizon non calcaire.

- sous végétation permanente, le complexe adsorbant est nettement insaturé au moins dans sa partie supérieure (S/T compris entre 50 et 80 %). Le  $pH_{\text{eau}}$  est compris entre 5,5 et 6,5 ;

- la mise en cultures peut modifier assez fortement les propriétés de cet horizon : baisse des teneurs en matières organiques, structure dégradée, complexe adsorbant plus ou moins resaturé. La couleur demeure cependant sombre ou noire. Notation LAhs ou LAh.

### Les horizons Sh et BTh

Sous l'horizon Ahs on observe des horizons non calcaires Sh ou BTh de teintes sombres ou noires, encore bien pourvus en matières organiques humifiées d'origine racinaire (teneurs en carbone supérieures à 0,6 % au cœur de l'horizon Sh ou BTh). Leur structure est généralement polyédrique très nette avec une sur-structure prismatique. Le complexe adsorbant est saturé ou sub-saturé par le calcium et secondairement par le magnésium (S/T > 80 %). Des caractères vertiques peuvent être observés.

Les horizons BTh « mélanoluviques » présentent en outre de nombreux revêtements organo-argileux sur les faces des agrégats. Le taux d'argile est souvent supérieur à celui des horizons Ahs sus-jacents, conséquence à la fois d'une illuviation verticale ou latérale d'argiles fines mais aussi d'une impor-

tante formation d'argile *in situ* par altération des minéraux primaires. Le caractère clinohumique est dû à l'activité biologique et à l'illuviation d'organo-argilanes.

### Autres horizons

En profondeur, on peut observer des horizons BT non humifères. Situés sous l'horizon BTh, ils sont caractérisés par d'abondants revêtements argileux bruns et par une structure très bien affirmée, polyédrique anguleuse fine à moyenne. La majeure partie de la fraction argile présente dans cet horizon est héritée du matériau originel ou résulte de l'altération *in situ* des minéraux primaires. Dans un certain nombre de cas, la formation de ces horizons BT non humifères semble résulter d'une phase pédogénétique ancienne, antérieure à la formation de l'épisololum humifère.

Sous les horizons Sh, BTh ou BT peuvent apparaître des horizons K d'accumulation de calcaire, sous la forme de pseudomycéliums ou d'amas friables à l'exclusion d'horizons Km.

La zone de contact entre les horizons Ahs et l'horizon BTh peut être affectée par des engorgements et présenter des caractères rédoxiques (-g). Enfin, des processus de planosolisation peuvent se manifester sous la forme d'un mince horizon E de couleur claire situé entre Ahs et BTh.

L'existence d'un horizon E bien développé est exclu. Sa présence conduirait au rattachement à d'autres Références (GRISOLS, PLANOSOLS, LUVISOLS...).

## 2 Références

### PHAEOSOLS HAPLIQUES

Les processus d'illuviation des complexes organo-argileux sont inexistantes ou peu importants. Lorsqu'il est possible de le calculer, l'IDT est inférieur à 1,3. La succession des horizons est Ahs ou LAh/Sh/K ou C.

Des horizons BT non humifères peuvent exister sous l'horizon Sh. Ils résultent d'une phase pédogénétique antérieure.

### PHAEOSOLS MÉLANOLUVIQUES

Les processus d'illuviation des complexes organo-argileux sont bien marqués, l'IDT est supérieur à 1,3 et inférieur à 3 si la transition entre Ahs et BTh est graduelle ; supérieur à 1,3 et inférieur à 2 si le passage entre Ahs et BTh est abrupt. La succession des horizons est Ahs ou LAh/BTh/K ou C.

Des horizons BT non humifères peuvent exister sous l'horizon BTh.

## Qualificatifs utiles

<b>leptiques</b>	l'épisolum humifère de couleur foncée (ensemble des horizons Ahs et Sh ou BTh) est peu épais (moins de 50 cm).
<b>bathyluviques</b>	présence en profondeur d'horizons BT non humifères.
<b>luviques</b>	(pour un PHAEOSOL HAPLIQUE) qui présente quelques revêtements organo-argileux (horizon Sth).
<b>dystriques</b>	dont l'horizon Ahs présente un rapport S/T inférieur à 50 % (rattachement imparfait).
<b>vertiques</b>	à caractères vertiques en Sh ou BTh.
<b>sodiques</b>	$\text{Na}^+ > 6\%$ de la CEC dans l'horizon Sh ou BTh.
<b>calcariques</b>	présence d'un horizon K ou Kc en profondeur.
<b>rédoxiques</b>	présence de caractères rédoxiques entre 50 et 80 cm de profondeur.
<b>planosoliques</b>	assez forte différenciation texturale, apparition d'un mince horizon E et changement textural brusque.
<b>cultivés, resaturés, etc.</b>	

## Relations avec d'autres GER

Les principales différences entre PHAEOSOLS et CHERNOSOLS sont relatives à l'épisolum humifère : l'horizon Ach des CHERNOSOLS est très noir, montre une structure naturelle très fine, anguleuse grenue ou grumeleuse et un complexe adsorbant saturé ou sub-saturé ; l'horizon Ahs des PHAEOSOLS est en général moins noir, présente une structure anguleuse plus grossière et un rapport S/T compris entre 50 et 80 %.

Si des horizons E, Eh ou Eg existent au-dessus d'horizons BTh ou BThg, on doit envisager le rattachement à d'autres Références :

- GRISOLS ÉLUVIQUES ou DÉGRADÉS : succession Ah ou LAh/Eh/BTh ou BThd ;

- LUVISOLS MÉLANOLUVIQUES (Référence envisagée, à définir) : succession A/E ou Eg/BTh avec un IDT supérieur à 1,8 et transition graduelle entre E et BTh ;

- PLANOSOLS TYPIQUES mélanoluviques (A/Eg/BThg) si IDT supérieur à 2 et qu'il y a un passage abrupt entre Eg et BThg.

Il existe également des « intergrades » vers les SODISOLS, les BRUNISOLS, les VERTISOLS, les ANDOSOLS...

# PLANOSOLS

D. Baize

## Définition

Les PLANOSOLS sont définis principalement par leur **morphologie différenciée**, elle-même étroitement liée à leur type particulier de **fonctionnement hydrique**. Cette liaison est telle que l'on ne sait plus si c'est la morphologie planosolique qui induit ce fonctionnement hydrique ou si c'est le fonctionnement qui a occasionné la morphologie.

Dans tous les cas, un grand contraste existe entre :

- des horizons supérieurs perméables qui sont saisonnièrement le siège d'excès d'eau et présentent donc des caractères rédoxiques (-g) ;
- et un horizon plus profond dont la perméabilité est très faible ou nulle : le « **plancher** ».

Ils font donc partie de l'ensemble cognat des « solums à caractères hydromorphes » (cf. ce chapitre).

## Morphologie

Le **cas général** est celui des PLANOSOLS « texturaux » qui cumulent les 4 caractères ci-dessous :

- **forte différenciation texturale** entre horizons supérieurs peu argileux, assez perméables, et horizons plus profonds, beaucoup plus argileux et très peu perméables (= « plancher ») :

- la différence entre taux d'argile au sein du solum doit être d'au moins 20 %,
  - l'horizon E le moins argileux ne doit pas excéder 30 % d'argile,
  - l'horizon le plus argileux du solum doit avoir au moins 25 % d'argile ;
- entre horizons supérieurs E et horizons plus profonds, il y a « **changement textural brusque** » : en moins de 8 cm comptés verticalement, on passe de
- si moins de 20 % d'argile en E : à plus du double  
(exemple : de 18 à plus de 36 % d'argile)
  - si plus de 20 % d'argile en E : à plus de  $x + 20$  % d'argile  
(exemple : de 25 à plus de 45 % d'argile) ;



- le **contact textural** doit être **sub-horizontale**, ce qui exclut un contact en glosses larges et profondes mais ce qui n'empêche pas une certaine « dégradation morphologique » du sommet du « plancher » sous la forme de petites taches de « silt » ou de petites glosses étroites ;

- saisonnièrement, les horizons E sont (au moins en partie) le siège de **nappes perchées temporaires à écoulement essentiellement latéral**. Il en résulte des phénomènes d'oxydo-réduction qui se marquent morphologiquement par des décolorations et/ou des précipités d'oxy-hydroxydes de fer.

**Cas particulier :** en certaines régions (notamment en Afrique soudano-sahélienne), on observe des solums à fonctionnement typiquement planosolique dans lesquels existe un « plancher » mais qui ne présentent pas de forte différenciation texturale ni de changement textural brusque (PLANOSOLS STRUCTURAUX).

## Pédogenèses et horizons de référence

En règle générale, la forte différenciation texturale résulte principalement d'une pédogenèse *in situ* au sein d'un matériau unique et (à peu près) homogène. Au cours du temps, se différencient progressivement des horizons supérieurs de plus en plus pauvres en argiles (horizons E). Trois processus distincts peuvent intervenir (susceptibles de se succéder) pour aboutir à ces Planosols « pédomorphes » :

- une illuviation verticale d'argile (solum Eg/BTg),
- une perte d'argile en surface par voie mécanique (« appauvrissement » ; solum Eg/Sg),
- une « dégradation géochimique » de certains minéraux argileux ferrifères (smectites, glauconites, halloysites) sous l'effet des phénomènes d'oxydo-réduction (« acidolyse », « ferrolyse ») ; solum Eg/Sg.

La forte différenciation texturale peut parfois résulter de la pré-existence de deux couches sédimentaires superposées (matériau complexe ancien ou récent). Dans un tel cas le solum diagnostique est : Eg/II S (plus rarement Eg/II BT). On parlera alors de Planosols « sédimorphes » (autrefois dits « lithomorphes »).

Le seul horizon de référence exigé est donc Eg. L'horizon Ea albique est courant, mais n'est pas obligatoire. Cependant, le concept de PLANOSOL exclut le solum Eg/BP caractéristique des PODZOSOLS. Les horizons A + E doivent faire au moins 15 cm d'épaisseur pour être pris en compte et donc permettre le rattachement aux PLANOSOLS.

Le « plancher » (changement textural brusque) doit apparaître à une profondeur maximale de  $120 \pm 20$  cm.

## Fonctionnement - Propriétés

Le fonctionnement hydrique est caractérisé par des engorgements saisonniers, intenses mais parfois fugaces, par des nappes perchées superficielles

temporaires qui circulent rapidement et s'évacuent latéralement au contact du « plancher » peu perméable.

Paradoxalement, les PLANOSOLS sont à la fois trop humides en hiver et au printemps et trop secs en été : le mauvais enracinement des plantes, suite aux excès d'eau d'hiver et de printemps, accroît encore leur caractère « séchard ».

La mise en valeur des PLANOSOLS pose problèmes. Les horizons de surface sont souvent à structure instable, à faible réserve hydrique et engorgés une partie de l'année alors que les horizons sous-jacents sont souvent compacts, difficilement pénétrables par les racines et par l'eau.

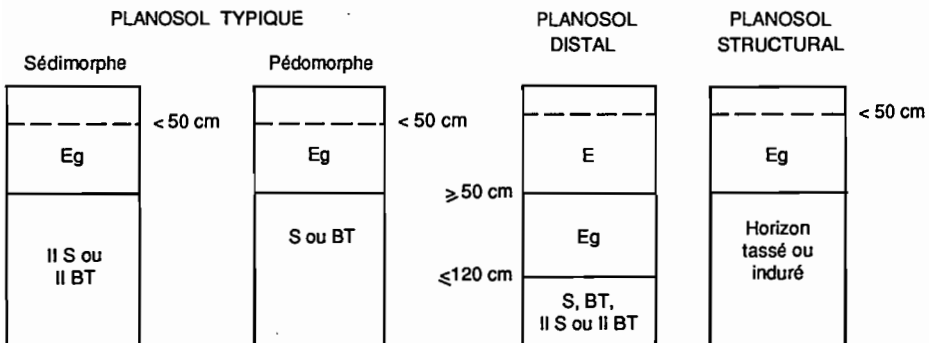
A certains moments, les horizons de surface sont à l'état réduit ; ils sont appauvris en argile et en fer, parfois à forte acidité minérale. Leur fertilité chimique est donc faible. Quant aux horizons profonds argileux et/ou compacts, ils présentent un réservoir utilisable pour l'eau restreint, suite à leur faible porosité « utile ». Leur richesse minérale est parfois considérable, mais peu disponible. Dans certains cas, l'abondance de l'aluminium échangeable peut occasionner des toxicités.

### 3 Références (cf. schéma)

Pour être rattaché aux Planosols « texturaux » (PLANOSOLS TYPIQUES ou PLANOSOLS DISTAUX), un solum doit cumuler les 4 caractères morphologiques cités au début de ce chapitre.

Cependant, la profondeur de l'horizon affecté par la nappe perchée temporaire (horizon Eg) a une grande importance pratique. Dans le cas le plus général, celui-ci est atteint à moins de 50 cm de profondeur (PLANOSOLS TYPIQUES). Mais, quand il existe des horizons A + E non engorgés d'épaisseur supérieure à 50 cm au-dessus de l'horizon Eg, le solum est rattaché à la Référence des PLANOSOLS DISTAUX (c'est-à-dire « à engorgement profond »).

Lorsqu'il n'y a pas (ou peu) de différenciation texturale au sein du solum et que l'imperméabilité du « plancher » est due à une autre cause (fort tassement, cimentation), le solum sera rattaché aux PLANOSOLS STRUCTURAUX (solums à grep, à fragipan, à horizon pétro-silicique = « duripan », etc.).



## Qualificatifs utiles

Les différents faciès des horizons éluviaux peuvent être exprimés par l'utilisation d'un certain nombre de qualificatifs, tels que :

<b>albique</b>	à horizon Ea albique
<b>à horizon rédoxique tacheté</b>	taches couvrant de 20 à 40 % de la surface de l'horizon Eg
<b>surrédoxique</b>	qualifie un PLANOSOL dans lequel le caractère rédoxique apparaît dans les 20 premiers cm.

Cependant, de nombreux qualificatifs se réfèrent à des caractéristiques ou des propriétés des horizons profonds, plus ou moins argileux :

- (à horizons profonds) **eutriques, dystriques, resaturés, etc.**
- « « **vertiques** (= à caractères vertiques)
- « « **sodiques**
- « « **mélanoluviques** (à revêtements noirs)
- « « **fersiallitiques** (= à caractères fersiallitiques)
- « « **kaolinitiques, smectitiques, etc.**
- « « **sablo-argileux, argileux, etc.**

En ce qui concerne les horizons de surface, on peut prévoir :

- **humifère** : à horizon de surface humifère
- à **micropodzol**, à **moder**, à **mésomull**, etc.

Si l'on a recueilli des arguments suffisants, on peut employer les qualificatifs ci-dessous, relatifs aux processus pédogénétiques impliqués :

- **pédomorphe** ou **sédimorphe**
- **d'illuviation**
- **d'appauvrissement**
- **de dégradation géochimique**
- **ferrolytique**

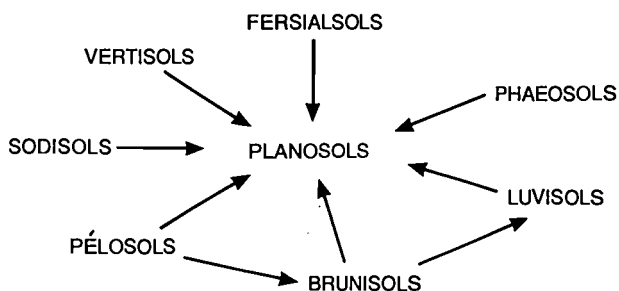
D'autres seront probablement à ajouter pour les PLANOSOLS des climats tropicaux ou équatoriaux.

## Relations avec les autres GER

Un grand nombre de « parentés » ont été signalées à propos des PLANOSOLS. Parenté avec les FERSIALSOLS (Ethiopie, Bulgarie), avec des VERTISOLS (Uruguay, Colombie, Bulgarie), avec des CHERNOSOLS ou des Brunizems (Colombie, Bulgarie), avec les LUVISOLS DERNIQUES (ex-URSS), avec des SODISOLS SOLODISÉS, etc. En France, il y a transition avec les LUVISOLS DÉGRADÉS et les PÉLOSOLS DIFFÉRENCIÉS.

Toutes les flèches du schéma ci-contre peuvent donner lieu à intergrades. Le concept de PLANOSOL, essentiellement morphologique et fonctionnel, est un faciès de **convergence** de différentes évolutions pédogénétiques.

Les PLANOSOLS étant par définition « rédoxiques », le double rattachement avec les RÉDOXISOLS est inutile.



## Exemples de types

PLANOSOL TYPIQUE	pédomorphe, d'appauvrissement, dystrique, humifère, limono-sableux en surface, glaucotonitique (Champagne humide)
PLANOSOL TYPIQUE PLANOSOL DISTAL	pédomorphe, d'illuviation, drainé, cultivé sédimorphe, albique, sableux en surface, argilo-sableux en profondeur (Sologne bourbonnaise)
PLANOSOL TYPIQUE	pédomorphe, fersiallitique, albique, cultivé (Bulgarie)
PLANOSOL TYPIQUE	pédomorphe, d'illuviation, mélanoluvique, eutrique (Colombie)
PLANOSOL STRUCTURAL	pédomorphe, pétroferrique, cultivé (« boulbènes à grep »).



# PODZOSOLS

D. Righi

## Définitions - Pédogenèse

Les PODZOSOLS présentent des sols où le processus de podzolisation est jugé dominant. Le concept de podzolisation implique :

- un processus biogéochimique d'altération dit **acido-complexolyse**, défini comme une attaque des minéraux primaires par des solutions contenant des composés organiques acides et complexants. Cette attaque a pour effet l'élimination de l'aluminium et du fer ainsi que celle des autres cations ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ , etc.). Il se forme alors un horizon résiduel, essentiellement quartzeux, correspondant à un horizon E ;

- un processus de **migration et d'immobilisation** des constituants organiques et de complexes organo-minéraux d'aluminium et/ou de fer. L'accumulation de ces substances conduit à la formation d'un horizon podzolique BP. L'hypothèse d'une migration de l'aluminium sous forme de composés alumino-siliciques (proto-imogolite) et leur immobilisation sous forme d'imogolite dans les horizons BP a été avancée. Cette hypothèse n'a pas reçu, à ce jour, de confirmation indiscutable.

## Répartition des PODZOSOLS

On les observe dans toutes les régions à climat humide :

- en zone boréale (température moyenne annuelle  $< 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), sous la taïga ;
- en altitude (étages sub-alpin et montagnard),
- en zones tempérées et tropicales humides, seulement sur matériaux pauvres chimiquement (sables quartzeux, grès).

Statistiquement, l'épaisseur des PODZOSOLS s'accroît à mesure que l'on se rapproche de l'Équateur.

## Horizons de référence

L'horizon BP podzolique est l'horizon obligatoire des PODZOSOLS. Il est caractérisé par une accumulation absolue de produits amorphes constitués

par des matières organiques et de l'aluminium, avec ou non du fer. Il présente en outre les caractères suivants :

### **Souvent**

- une micro-structure pelliculaire, les revêtements étant constitués de matière organique amorphe (monomorphe) associée à l'aluminium et, éventuellement, au fer ;
- une cimentation continue d'une partie de l'horizon par des constituants amorphes organiques associés à l'aluminium et, éventuellement, au fer ;

### **Toujours**

- une teinte de 7,5 YR ou plus rouge à l'état humide (condition nécessaire mais non suffisante) ;
- un taux d'aluminium et/ou de fer extractibles à l'oxalate d'ammonium ( $Al_{ox}$  et  $Fe_{ox}$ ) tels que  $Al_{ox}$  et  $Fe_{ox}$  en BP soient supérieurs à  $Al_{ox}$  et  $Fe_{ox}$  en A ou E ;
- une fraction majoritaire de matières organiques extractibles au pyrophosphate de sodium 0,1 M ; dans cette fraction extractible, les acides fulviques sont essentiellement de type polyphénolique (séparation sur résine polyvinyl-pirrolidone). En absence de ces informations, on peut utiliser le critère suivant : densité optique de l'extrait oxalique au moins deux fois supérieur en BP qu'en A et supérieur à 2,5.

La morphologie et les caractéristiques analytiques des horizons BP sont susceptibles de varier largement. On distingue notamment des horizons BP cimentés (alios, ortstein) et des horizons BP meubles ou friables. Certains BP ont une teneur élevée en carbone, relativement aux teneurs en Al et Fe extractibles (horizons BPh ; h pour humus), d'autres ont une teneur plus faible et Al et Fe extractibles sont alors dominants (horizons BPs ; s pour sesquioxides). Ces deux types d'horizons BP peuvent exister dans un même solum, dans ce cas l'horizon BPh est situé au-dessus de l'horizon BPs.

En relation avec la dynamique de l'eau dans le sol, une ségrégation des accumulations de fer par rapport aux accumulations de matières organiques et d'aluminium peut être observée. Ces ségrégations prennent la forme soit de nodules ferrifères soit d'un horizon placique.

Un horizon placique (FEMP) est un horizon mince (1 à 10 mm), cimenté par du fer, du fer et du manganèse ou par un complexe matière organique-fer. Le développement d'un horizon placique n'est pas nécessairement lié au processus de podzolisation.

Dans certains cas, on observe la superposition directe OH/Eh. Cet horizon Eh est de couleur grise mais non noire ; il est imprégné de matières organiques de diffusion. Lorsqu'un horizon A existe, il est acide ou très acide ( $pH_{eau} < 5,0$ ), riche en matières organiques, il présente une couleur sombre : c'est un horizon A de juxtaposition. Tous les épisolums mulls ou agri-mulls sont exclus. En profondeur, on peut observer un horizon C (par exemple, une arène granitique), une couche M (sable sédimentaire), ou une couche Rcr (roche cristalline dure).

## Solums diagnostiques - 8 Références

Sous végétation permanente (forêts, landes, pelouses), les solums diagnostiques des PODZOSOLS sont :

O/A/E/BP ou O/Eh/BP ou O/Eh/E/BP ou O/A/BP

Sous cultures : LA/E/BP ou LA/BP

Les Références sont distinguées selon la présence ou l'absence d'un horizon E, selon les caractéristiques de l'horizon BP (meuble ou cimenté, humique ou sesquioxydique) et la présence ou non d'une ségrégation de fer.

### PODZOSOLS DURIQUES

Solum E/BPh cimenté avec ou non un BPs sous-jacent. Le contraste entre les horizons E et BPh est très fort et la transition brutale.

### PODZOSOLS HUMO-DURIQUES

Solum A/BP induré. Le contraste entre horizons A et BP est fort et la transition est brutale.

### PODZOSOLS MEUBLES

Solum E/BP meuble. BP peut être un BPh ou un BPs. Le contraste entre les horizons E et BP est peu accentué et la transition est assez progressive.

### PODZOSOLS PLACIQUES

Solum E/BP ou A/BP avec présence d'un horizon placique. Celui-ci est situé immédiatement au-dessus ou dans l'horizon BP. La présence d'un horizon BP est nécessaire pour le rattachement aux PODZOSOLS, la présence d'un horizon placique n'est pas suffisante.

### PODZOSOLS OCRIQUES

Typiquement, l'horizon BP est un BPs surmonté par un BPh peu développé. Cependant, l'horizon BP peut être un BPh (matériaux sableux très pauvres en minéraux altérables). Le contraste entre A et BP est peu accentué et la transition progressive. Ils correspondent aux anciens « sols ocres podzoliques » de la Classification des Sols CPCS de 1967.

### PODZOSOLS HUMIQUES

Solum A/BPh ou BPs meubles. L'horizon A est épais (40 à 50 cm), micro-agrégé, avec une densité apparente faible. Le contraste entre BP et A est peu accentué et la transition progressive. Beaucoup de solums anciennement appelés « Rankers crypto-podzoliques » se rattachent aux PODZOSOLS HUMIQUES.



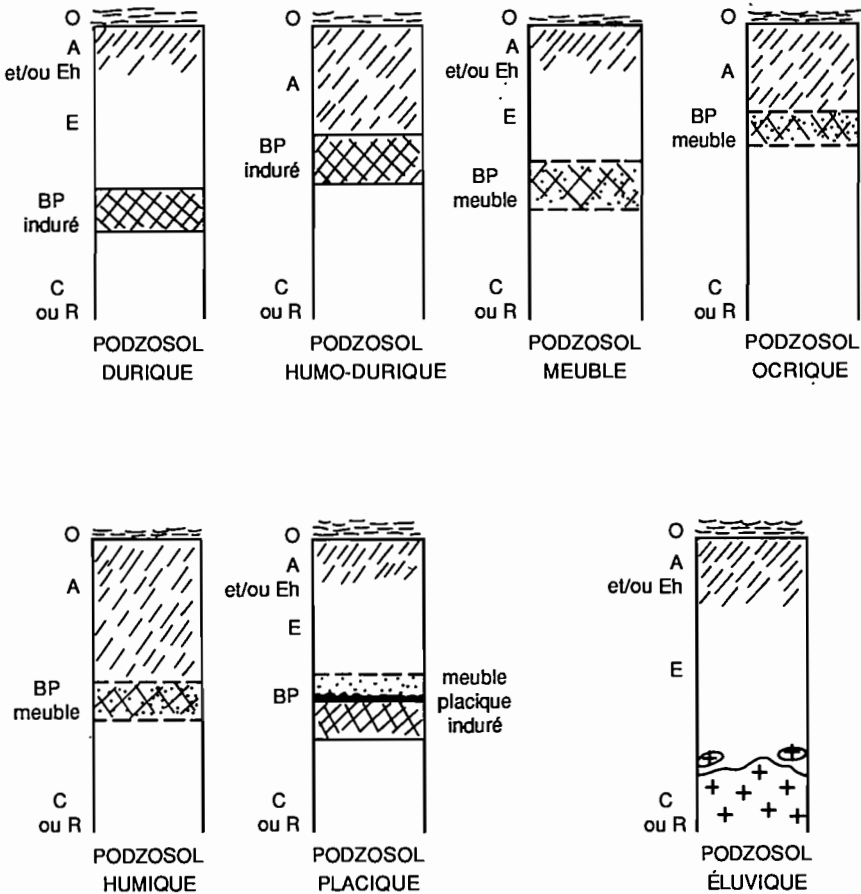
**POST-PODZOSOLS**

Suite à la mise en culture, le solum présente un horizon BP reconnaissable mais remanié et parfois discontinu.

**PODZOSOLS ÉLUVIQUES**

Le solum est de type A/E/C ou R. L'horizon BP manque dans le solum mais il existe latéralement, plus bas sur le versant. Fortes pentes. Souvent, on observe une certaine accumulation de matières organiques à la base du E.

La présence de nodules ferrugineux ne permet pas de définir une Référence, ce caractère pouvant affecter des PODZOSOLS DURIQUES, HUMO-DURIQUES ou MEUBLES, ou même certains PODZOSOLS OCRIQUES. On retiendra le terme « nodulaire » comme qualificatif.



## Qualificatifs utiles

### Pour des PODZOSOLS

<b>nodulaire</b>	présence de nodules ferrugineux dans l'horizon BP.
<b>à nappe</b>	présence d'une nappe phréatique ou d'une nappe temporaire affectant les horizons BP.
<b>à horizon BT</b>	présence d'un horizon BT à la partie inférieure du solum, sous l'horizon BP.
<b>bathyluvique</b>	à traits d'accumulation d'argile en profondeur.
<b>leptique</b>	le solum podzolique [A + E + BP] ou [A + BP] a moins de 30 cm d'épaisseur.
<b>pachique</b>	le solum podzolique [A + E + BP] ou [A + BP] a plus de 2 m d'épaisseur.
<b>gigaliotique</b>	le solum présente un horizon BP cimenté (« alios ») de plus de 50 cm d'épaisseur.
<b>fossilisé</b>	dont l'évolution pédogénétique est arrêtée depuis des siècles, suite, par exemple, à un changement climatique.
<b>cultivé</b>	implique le labour des horizons supérieurs et une fertilisation, mais le BP n'est pas remanié et demeure facilement identifiable.
<b>cryoturbé, rédoxique, etc.</b>	

### Pour des non PODZOSOLS

<b>à micropodzol</b>	un épisolum podzolique E + BP ou A + BP existe, sur une épaisseur < 20 cm, en surface et au-dessus d'un solum permettant de définir une autre Référence (exemple : LUVISOL DÉGRADÉ à micropodzol).
<b>podzolisé</b>	(en cours de podzolisation) qualifie un horizon ou un solum dans lequel un processus de podzolisation peut être mis en évidence par des indices morphologiques, physico-chimiques ou minéralogiques sans qu'il y ait formation d'un véritable horizon BP.

## Les PODZOSOLS et l'hydromorphie

La présence d'une nappe phréatique permanente affecte la morphologie et les caractéristiques analytiques des PODZOSOLS sur les points suivants :

### Redistribution du fer

La présence d'une nappe acide et réductrice favorise le passage du fer à l'état ferreux. Le fer est alors beaucoup plus soluble et potentiellement mobile qu'à l'état ferrique. La redistribution du fer est alors dépendante de

la circulation des nappes et des changements de leurs caractéristiques physico-chimiques (Eh, pH) provoquant réduction ou réoxydation. Dans les roches-mères sableuses où la circulation des eaux est relativement rapide, cette redistribution se fait généralement sur des distances assez grandes ; des parties du paysage quasi-totalement appauvries en fer s'opposent alors à d'autres parties où celui-ci s'accumule.

La redistribution des composés organiques et de l'aluminium est beaucoup moins affectée par l'excès d'eau. Il s'ensuit une dissociation dans l'espace des éléments mobilisés par la podzolisation (matières organiques, Al) et du fer mobilisé par oxydo-réduction.

Les PODZOSOLS hydromorphes sont alors caractérisés par la quasi-absence de fer dans tout le solum (et en particulier dans les horizons BP) ou, si le fer est présent, il l'est sous forme de nodules ferrugineux, voire de bancs ferrugineux (garluche) dans les horizons BP ou C sous-jacents.

### **Épaississement de l'horizon A**

La présence d'un excès d'eau affectant les horizons de surface se traduit par un caractère plus humifère et l'épaississement des horizons A (généralement peu épais dans les PODZOSOLS bien drainés). Il y a alors disparition de l'horizon E gris cendré. Le solum est alors A/BP/C.

Des horizons histiques H ont également été décrits pour des PODZOSOLS hydromorphes.

### **Principaux types**

Toutes les Références retenues pour les PODZOSOLS peuvent présenter des caractères hydromorphes. Seul le solum A/BPh induré/C semble être caractéristique d'une podzolisation en milieu engorgé.

*Attention* : en cas d'excès d'eaux météoriques (fonte des neiges ou climat per-humide) et en conditions de mauvais drainage, on peut observer des solums présentant un horizon de surface blanchi et des mouvements du fer liés à des processus d'oxydo-réduction et non à la complexation. La présence de lépidocrocite dans l'horizon sous-jacent est un indicateur d'une évolution dominée par l'hydromorphie. Généralement, un processus de podzolisation accompagne celui d'hydromorphie superficielle. Il est important d'évaluer l'importance du premier par rapport au second. Cela peut être fait en étudiant la redistribution des matières organiques et de l'aluminium. On peut prévoir des intergrades entre PODZOSOLS et RÉDOXISOLS.

### **Propriétés édaphiques des PODZOSOLS**

Ce sont des sols très pauvres chimiquement et très acides. Il en résulte parfois des toxicités (notamment aluminiques) et des carences (en cuivre, cobalt, bore). La fertilisation nécessite des apports à doses faibles et répétées.

Les PODZOSOLS présentent souvent des réserves en eau très faibles en périodes estivales : textures souvent grossières, enracinement parfois limité par les horizons BP indurés. En matière de rétention d'eau, les horizons A sont plus favorables que les E. C'est pourquoi les PODZOSOLS HUMODURIQUES sont moins secs que les PODZOSOLS DURIQUES ou MEUBLES. En revanche, certains PODZOSOLS souffrent d'excès d'eau sous forme de nappes phréatiques peu profondes (Landes de Gascogne).

La cimentation de l'horizon BP peut être telle que cet horizon devient non pénétrable par le système racinaire. Des résistances à la pénétration  $> 50 \text{ kg/cm}^2$  ont été mesurées, le seuil de pénétration des racines étant estimé à environ  $30 \text{ kg/cm}^2$ . La partie du solum accessible est alors uniquement le domaine éluvial (horizons A + E), particulièrement pauvre en éléments nutritifs.

En revanche, les PODZOSOLS sont en général faciles à travailler et se réchauffent rapidement au printemps.



# RANKOSOLS

M.C. Girard et D. Baize

## Morphologie - Solum-diagnostique

Le solum-diagnostique est O (facultatif)/A ou Ah ou LA/C ou R, avec en outre 4 caractères obligatoires :

- les horizons A ou Ah ou LA, C ou R ne sont pas carbonatés ;
- l'épaisseur de [O + (A ou Ah ou LA) ] est supérieure à 10 cm (sinon à rattacher aux LITHOSOLS) mais inférieure à 40 cm ;
- présence d'éléments grossiers non calcaires ;
- il ne doit y avoir ni horizon E, ni BP, ni BT, ni S de plus de 10 cm d'épaisseur.

## Écologie - Pédogenèse

Les RANKOSOLS correspondent à des solums peu différenciés mais qui ont des origines diverses. Pour les uns, la faible évolution est liée uniquement à une situation sur pentes fortes (RANKOSOLS d'érosion, constamment rajeunis). D'autres résultent d'un équilibre avec le climat et la végétation : on les observe dans des zones de hautes altitudes ou de hautes latitudes, situées au-dessus de la limite thermique de la végétation forestière. La température moyenne très basse ralentit l'activité biologique et les processus biochimiques d'altération. Ce sont les RANKOSOLS « alpins » et « arctiques ».

Les RANKOSOLS sont les équivalents des RENDOSOLS en milieux cristallins. Ils se distinguent des ORGANOSOLS INSATURÉS par leur plus faible teneur en matières organiques et leur épaisseur limitée à 40 cm.

## Qualificatifs utiles spécifiques

- humifère** présence d'un horizon Ah (plus de 5 % de carbone organique) ;  
**haplique** présence seulement d'un horizon A (et moins de 5 % de carbone organique) sous prairies, pelouses ;

<b>cultivé</b>	présence seulement d'un horizon LA (et moins de 5 % de carbone organique) ;
<b>d'érosion</b>	origine non climatique, situation sur fortes pentes ;
<b>alpin</b>	des hautes altitudes,
<b>arctique</b>	des hautes latitudes.

### **Exemples de types**

RANKOSOL humifère, alpin, aluminique, à mor, issu de gneiss

RANKOSOL cultivé, sablo-graveleux, issu de granite à 2 micas

RANKOSOL humifère, d'érosion, oligo-saturé, sur grès quartzitique

# RÉGOSOLS

D. Baize

## Définition

Solums très minces comportant à moins de 10 cm de profondeur un matériau non ou très peu évolué, non différencié, n'ayant pas acquis de structure pédologique généralisée, meuble ou peu dur (c'est-à-dire cohérent mais approfondissable avec des outils tels que bêches, pioches, charrues), sans contact lithique à moins de 50 cm de la surface.

## Solum

N'importe quel horizon pédologique au-dessus d'une couche M à l'exclusion des dépôts alluviaux très récents pour lesquels on parlera de FLUVIOSOLS BRUTS (en raison de leur mode de dépôt et de leur position géomorphologique).

## Qualificatifs utiles

dunaire, de plage, d'erg (RÉGOSOL sableux, d'apport éolien)  
d'érosion, d'apport (colluvions exclues)  
anthropique (par exemple : fonds de carrière)  
« *badlands* » (à ravinement généralisé)  
calcaire, crayeux, dolomitique, marneux, pyroclastique, etc.

Distinction entre RÉGOSOLS sableux et ARÉNOSOLS : taux de matières organiques et activité biologique non négligeables sur une assez grande épaisseur dans le cas des ARÉNOSOLS.

Distinction entre RÉGOSOLS d'apport et COLLUVIOSOLS :

- les colluvions correspondent à une mise en place particulière ;
- les COLLUVIOSOLS sont le plus souvent constitués de matériaux pédologiques déplacés le long des versants, matériaux souvent fortement évolués.



**Exemples de types**

RÉGOSOL sableux, calcaire, de dune littorale

RÉGOSOL dolomitique, de pente forte

RÉGOSOL anthropique, crayeux, de fond de carrière

RÉGOSOL *badlands*, issus de marnes noires

# SOLUMS SALSODIQUES SALISOLS ET SODISOLS

J.Y. Loyer

## Caractères généraux

Les caractères des solums affectés par les sels imposent de les retenir au plus haut niveau du Référentiel. En effet, la nature chimique de leurs constituants, leurs caractères morphologiques et d'organisation et surtout leurs comportements physico-chimique et hydrique particuliers et à dynamique parfois rapide, entraînent la formation de paysages typiques, une occupation végétale spécialisée ou totalement absente, et des problèmes spécifiques de mise en valeur.

L'appellation de « sols salés », même prise dans un sens très général, n'a pas été retenue car elle s'applique de façon trop restrictive aux sels solubles et au chlorure de sodium en particulier. De même celles de « sols Halomorphes » ou de « Selsols » qui ne prennent pas non plus en compte les cations adsorbés. L'appellation de « solums Salsodiques », même si elle rend essentiellement compte du rôle du sodium et pas de celui joué par le magnésium, paraît néanmoins aujourd'hui la plus satisfaisante.

Ils correspondent aux « Solontchaks », « Solonetz » et « Solods » regroupés des auteurs soviétiques.

Les climats arides et semi-arides, qui contribuent au maintien des sels dans les couvertures pédologiques et les paysages, sont les plus favorables au développement de ces caractéristiques salines ou alcalines reconnues aussi sous climats tempérés, dans des situations particulières (estuariennes, endoréiques, etc.).

L'origine des sels responsables de cette salinité-sodicité est diverse :

- marine actuelle ou ancienne ;
- pétrographique due aux ions libérés par l'altération de certaines roches ;
- volcanique ou hydrothermale ;
- éolienne par des embruns ;
- mais aussi anthropique induite par la mise en valeur agricole et autres aménagements (eaux d'irrigation, engrais, barrages, serres, effluents agricoles ou urbains...).

Les matériaux affectés sont le plus souvent alluviaux, fluvio-marins, parfois colluviaux ou régosoliques, de compositions texturales variables, souvent hétérogènes car polygéniques, et situés en position topographique basse. La présence d'une nappe phréatique est fréquente. En régime naturel, les conditions bioclimatiques (précipitations pluviales, évaporation, évapotranspiration) différencient des dynamiques verticales descendantes, ascendantes ou complexes qui caractérisent les profils de ces sols du point de vue des sels solubles ou du sodium échangeable. En systèmes irrigués les profils verticaux peuvent être plus complexes, en relation avec les régimes hydriques imposés.

La végétation naturelle subissant soit une pression osmotique trop élevée dans la solution du sol, soit une toxicité ionique spécifique, soit encore des caractéristiques physiques et une ambiance hydrique défavorables, se spécialise sur ces milieux occupés par des espèces tolérantes dites halophytes ou xérophytes ; ceux-ci peuvent aussi être totalement dépourvus de végétation à partir d'un niveau de salinité élevé (*chotts, lagunas, sebkhas, salares, sansouires, tannes vifs*).

## Horizons de référence

Deux horizons de référence, salique et sodique, caractérisent ce GER. Ils peuvent exister soit séparément, soit conjointement et superposés dans un même solum (un horizon salique reposant sur un horizon sodique ou inversement) en raison d'une évolution naturelle ou souvent anthropique induite par l'irrigation. Ces deux horizons de référence sont essentiellement caractérisés :

- soit par la présence d'une certaine quantité de sels solubles dans la solution du sol ou précipités dans l'horizon lui-même (horizon salique) ;
- soit par la présence, sur le complexe échangeable de l'horizon, d'une quantité de sodium relativement importante par rapport aux autres cations adsorbés (horizon sodique).

### Horizon salique

Horizon caractérisé par une accumulation marquée de sels plus solubles que le gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) dont le produit de solubilité  $\log K_s$  à 25 °C = -4,85. Il peut donc s'agir de sels chlorurés, sulfatés, bicarbonatés, carbonatés ou nitrates : sels simples  $\text{KCl}$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaNO}_3$ ,..., ou sels complexes plus ou moins hydratés. Le cation le plus fréquent est le sodium.

Outre ce critère de solubilité, le type anionique de salure et la conductivité électrique de la solution du sol sont pris en considération :

- enrichi en chlorures et/ou en sulfates ou nitrates (sels de la série neutre), avec un pH de l'extrait de pâte saturée inférieur à 8,5, il est défini comme Salique si, à un moment de l'année, la conductivité électrique de cet extrait de pâte saturée atteint 15 dSiemens par mètre à 25 °C ;

- enrichi en bicarbonates et carbonates (sels de la série alcaline), avec un pH de l'extrait de pâte saturée supérieur à 8,5, il est défini comme Salique si, pendant une période de l'année, la conductivité électrique de cet extrait de pâte saturée atteint  $8\text{dS. m}^{-1}$  à  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Notations : SaA, SaS, SaC, SaY, éventuellement SaBT, SaH, SaK, etc.

*Remarque* : La teneur de cet horizon en sodium et/ou en magnésium échangeable peut être élevée relativement au calcium, et elle l'est d'autant plus que la salinité est forte, mais la structure n'est pas dégradée.

### Horizon sodique

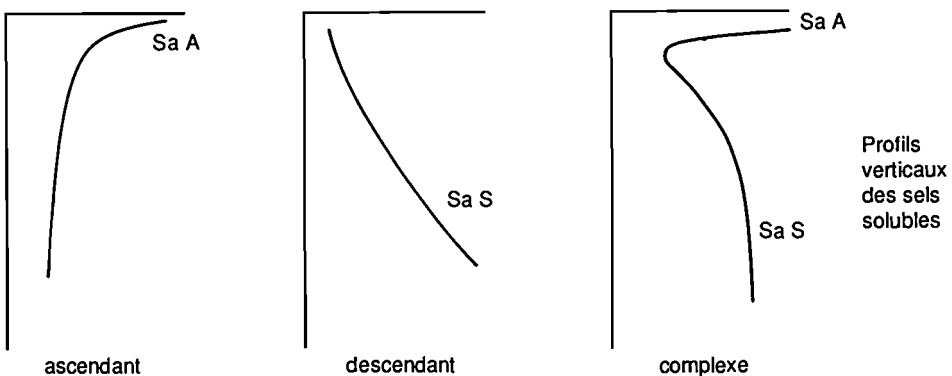
Horizon caractérisé par une forte proportion de sodium échangeable. Il est affecté également par une structure dégradée et compacte, soit totalement continue soit grossièrement polyédrique, prismatique ou en colonnes. Cette évolution structurale est en relation avec des conditions pédoclimatiques de plus en plus humides provoquant la mobilisation du sodium au sein des solums ou latéralement. La porosité intra-agrégats de cet horizon est toujours faible, non seulement en saison humide mais aussi en saison sèche.

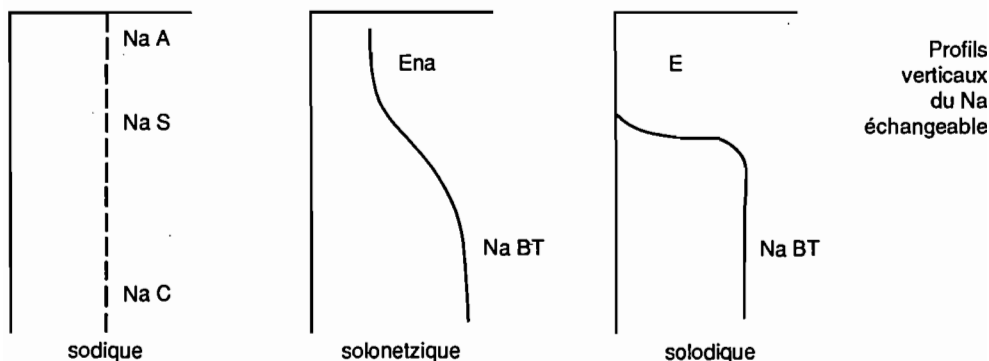
Cette dégradation de la structure est provoquée par une teneur en sodium échangeable et hydrolysable plus ou moins élevée, mais représentant au moins 15 % de la somme des cations échangeables alcalins et alcalino-terreux. Cette teneur peut être inférieure lorsque le sodium manquant est compensé par une teneur élevée en magnésium échangeable et surtout déséquilibrée par rapport à celle du calcium. Selon la nature minéralogique des argiles présentes, une teneur en sodium inférieure à 15 % peut aussi causer des dégradations structurales.

La teneur en sels solubles de cet horizon est nulle ou très faible.

Notation : NaA, NaS, NaC, NaBT.

### GER des solums salsodiques





### Principales organisations des solums sal sodiques (suite)

## 7 Références

Sept Références sont distinguées : SALISOLS (2 Références), SODISOLS (3 Références), SODISALISOLS (1 Référence) et SALISODISOLS (1 Référence).

### SALISOLS

Ils sont caractérisés par la présence d'un « horizon salique », apparaissant à moins de 60 cm de profondeur. La présence de sels solubles en quantité suffisante entraîne obligatoirement dans ce même horizon un transfert de sodium sur le complexe d'échange mais la structure n'est pas dégradée. Selon le type anionique de salure, on distingue deux Références :

- les SALISOLS CHLORURO-SULFATÉS affectés par une salure neutre ou faiblement acide (pH inférieur à 8,5) et riches en sels neutres de sodium, magnésium ou calcium (milieux souvent marins mais pas exclusivement, sols sulfatés sodiques continentaux du nord Mexique, par exemple) ;
- les SALISOLS CARBONATÉS dont la salure est dominée par des sels alcalins (pH supérieur à 8,5 ; milieux continentaux).

*Remarque :* des SALISOLS nitrates et borates reconnus ponctuellement en Asie centrale, Antarctique, Bolivie... pourraient constituer des Références supplémentaires.

En relation avec une dynamique ascendante ou descendante de leur profil salin, ces solums peuvent ou non présenter des états de surface bien différenciés et caractéristiques (croûte saline ou gypso-saline, efflorescences, structure poudreuse, salant hygroscopique ou structure superficielle friable à agrégats conservés).

**SODISOLS**

Ils sont caractérisés par la présence d'un horizon sodique apparaissant à moins de 60 cm de profondeur, et par l'absence quasi-totale de sels solubles en présence desquels la structure se maintiendrait stable. Selon la garniture cationique du complexe d'échange, on peut différencier des SODISOLS « sodiques » et des SODISOLS « magnésiens ». Au plus haut niveau, seul le degré d'évolution verticale du couple argile-sodium (fonction des conditions hydroclimatiques) est pris en considération pour distinguer trois Références :

- les SODISOLS INDIFFÉRENCIÉS (sodiques), dans lesquels la dispersion de l'argile sodique provoque seulement une dégradation de la structure qui devient très massive ; la porosité intra-agrégats est faible ; il n'y a pas de migration verticale, ni d'ions ni d'argile. Le pH est généralement supérieur à 8,7 (alcalinisation). Solum NaA/NaS/NaC ;

- les SODISOLS SOLONETZIQUES (lessivés), dans lesquels une certaine désaturation en sodium du complexe échangeable puis une éluviation d'argile se manifestent dans les horizons supérieurs et dont le pH s'abaisse devenant proche de la neutralité. Les horizons inférieurs, enrichis en sodium et en argile, ont une structure prismatique ou en colonnes avec une porosité intra-agrégats très faible. Solum Ena/NaBT ;

- les SODISOLS SOLODISÉS (dégradés), dans lesquels une désaturation complète du complexe adsorbant dans les horizons supérieurs provoque un abaissement du pH jusqu'à des valeurs comprises entre 4 et 5. L'action conjointe de l'acidité libérée et des phénomènes d'oxydo-réduction provoque une dégradation des minéraux argileux qui se manifeste sous forme d'un blanchiment de l'horizon E et du sommet des colonnettes de l'horizon NaBT ; cet horizon inférieur enrichi en sodium présente un pH élevé, alcalinisé (9 à 10).

Solum : Ea/NaBT.

Certains sols Salsodiques présentent à la fois un horizon salique et un horizon sodique superposés. Selon l'ordre de superposition de ces deux horizons de référence, on distingue deux Références :

- les SODISALISOLS qui, du fait d'une évolution saline verticale descendante, naturelle ou anthropique d'un sol salique originel, présentent un horizon de surface dessalé mais sodique, à forte compacité intra-agrégats à l'état sec ou à structure continue à l'état humide. Cet horizon est plus ou moins épais et différencié, selon la mobilité des sels solubles initialement présents. On passe en profondeur à un horizon salique et la configuration du solum est NaA/SaS ;

- les SALISODISOLS qui, du fait d'une longue évolution saline ascendante, présentent un horizon superficiel salique (chloruro-sulfaté, ou carbonaté) passant en profondeur à un horizon sodique dessalé. Cette configuration se reconnaît en présence d'une nappe alcalisante, à SAR (*Sodium Adsorption Ratio*) élevé, dont les battements affectent les horizons inférieurs des sols, les soumettant à une alcalinisation remontante (horizon sodique). Sous les climats à fort pouvoir évaporant, les sels solubles présents et suffisamment mobiles

(essentiellement chlorures et sulfates) se concentrent à la partie supérieure des solums, différenciant un horizon salique.

Solum : SaA / NaS.

*Remarque* : pour chacune de ces deux dernières Références, des précisions complémentaires peuvent être apportées selon la nature anionique des sels solubles présents (qualificatifs chloruro-sulfatés, sulfatés, ou bicarbonatés).

## Qualificatifs utiles

- salique** qualifie un solum (autre que SALISOL) dans lequel un horizon salique est reconnu à plus de 60 cm de profondeur (et à moins de 125 cm).
- sodique** qualifie un solum (autre que SODISOL) dans lequel un horizon sodique apparaît à plus de 60 cm de profondeur (et à moins de 125 cm).
- magnésien** qualifie un SODISOL où le magnésium est nettement dominant par rapport au sodium et surtout au calcium sur le complexe adsorbant.
- salin** qualifie un solum ou un horizon dans lequel est reconnue une certaine abondance de sels plus solubles que le gypse, mais dont la conductivité électrique est en deçà des normes de définition de l'horizon salique.
- sodisé** qualifie un solum ou un horizon dans lequel est reconnue une certaine abondance de sodium sur le complexe adsorbant mais en deçà des normes de définition de l'horizon sodique.
- chloruro-sulfaté, sulfaté, bicarbonaté** : précisent la nature anionique des sels solubles présents (cas des SODISALISOLS et SALISODISOLS).
- jarositique** qualifie un solum dans lequel un horizon à jarosite apparaît à plus de 60 cm de profondeur (et à moins de 125 cm).
- vertique, réductique, rédoxique, carbonaté, calcaire, etc.**

## Relations avec d'autres GER

Les solums dont la texture trop grossière ne permet pas la confection d'une pâte saturée, ne sont pas rattachés aux solums salsodiques mais aux ARÉNOSOLS saliques.

Les solums Salsodiques sont souvent affectés par des engorgements temporaires ou permanents plus ou moins intenses. Un solum présentant un horizon salique ou sodique ne sera rattaché à une référence de RÉDUCTISOL ou de RÉDOXISOL que s'il présente un horizon G ou g à moins de 50 cm de profondeur. Si les caractères liés à l'engorgement sont plus profonds, on utilisera les qualificatifs « réductique », « rédoxique », « à horizon réductique de profondeur » ou « à horizon rédoxique de profondeur ».

Les solums Salsodiques peuvent présenter des caractères vertiques, gyp-siques, calcimagnésiques ou steppiques, de même que certains VERTISOLS, ou solums calcimagnésiques des manifestations salsodiques.

Des solums qui présentent des caractéristiques de THIOSOLS ou surtout de SULFATOSOLS peuvent aussi correspondre à la définition des SALISOLS. Dans un tel cas les solums seront désignés comme SULFATOSOLS saliques.

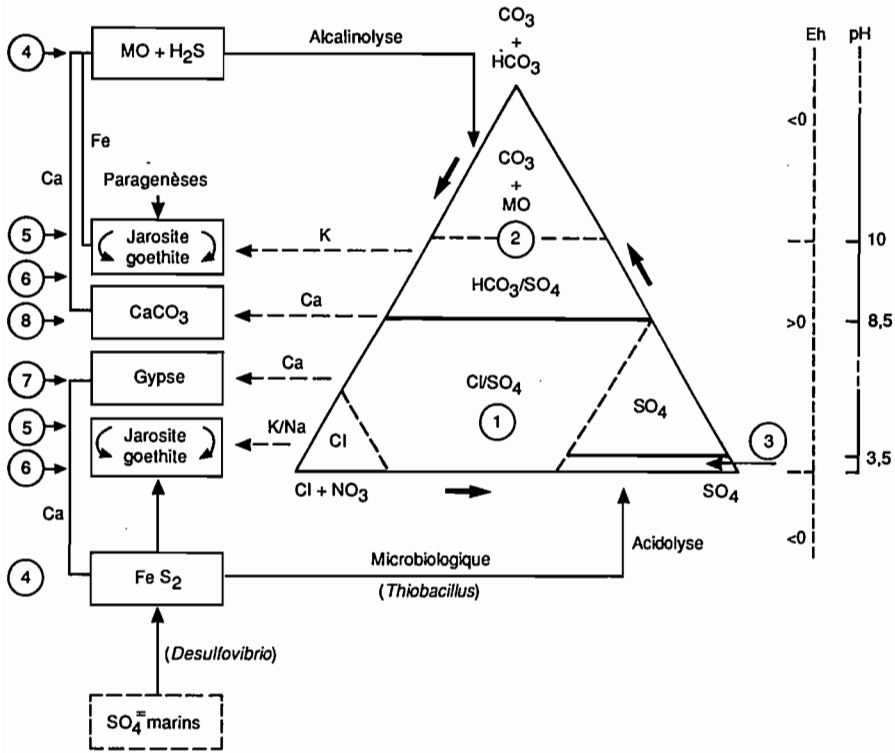
### **Mise en valeur et conservation**

L'utilisation agricole de ces sols est délicate. En pluvial, seuls les sols des pays suffisamment humides sont utilisables, parfois après dessalement saisonnier (riz, pâturage, espèces forestières ou fourragères tolérantes...). Partout ailleurs, notamment en régions sèches, il faut recourir à une mise en valeur irriguée qui nécessite des précautions particulières et surtout un lessivage et un drainage pour éliminer l'excès de sels et contrôler les remontées de nappe. On a aussi recours à l'emploi d'amendements minéraux ou organiques, et même à des solutions acides qui, améliorant la structure, facilitent le lessivage des sels. Un autre risque est de développer par ces pratiques hydro-agricoles, sur des sols initialement sains, une dégradation saline secondaire induite, même par l'utilisation d'eaux d'assez bonne qualité mais en quantité insuffisante pour assurer un lessivage, et sans drainage efficace.

Dans tous les cas, un diagnostic préalable suffisamment précis s'avère indispensable avant toute intervention.

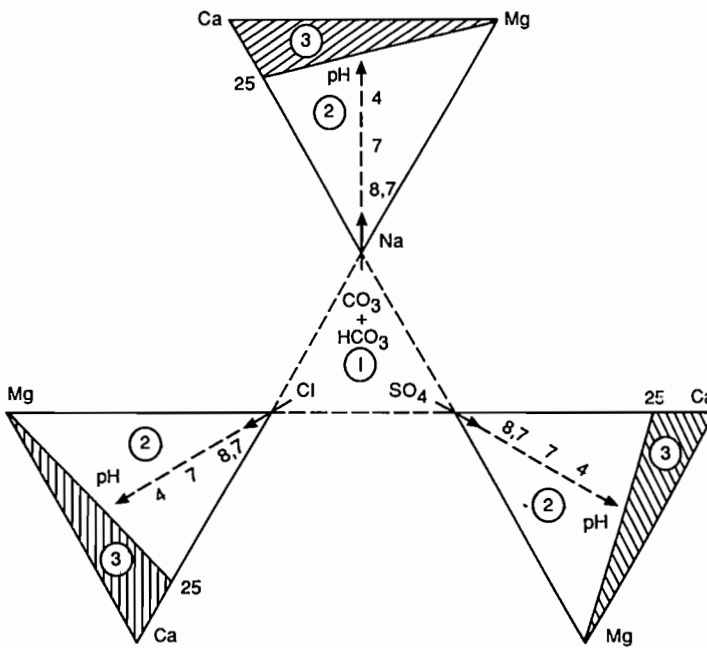
Les problèmes liés à la conservation, à la dégradation chimique et à la régénération des sols affectés, sont aujourd'hui d'une importance primordiale dans ces milieux irrigués, en raison de l'ampleur des interventions humaines en cours de développement. Une orientation récente consiste à rechercher des variétés de plantes tolérantes pour maintenir la meilleure production possible en repoussant les seuils de mortalité des espèces cultivées, grâce à une sélection génétique.





- $\triangle$  Domaine de solubilité supérieure à celle du gypse       $\square$  Domaine de solubilité égale ou inférieure à celle du gypse
- |                                       |                           |                 |
|---------------------------------------|---------------------------|-----------------|
| 1. SALISOLS chloruro-sulfatés neutres | 4. THIOSOLS               | 7. GYPSOSOLS    |
| 2. SALISOLS carbonatés alcalins       | 5. SULFATOSOLS à jarosite | 8. CALCARIOSOLS |
| 3. SULFATOSOLS aluniques              | 6. SULFATOSOLS rubriques  |                 |

**Principales références des SALISOLS et filiation avec d'autres références**



- ① Solution du sol enrichie en sels plus solubles que le gypse = SALISOLS (et SULFATOSOLS aloniques)
- ② Complexe échangeable du sol enrichi en sodium et/ou en magnésium = SODISOLS. Evolution possible du pH : SODISOLS INDIFFÉRENCIÉS, SOLONETZIQUES et SOLODISÉS
- ③ Complexe échangeable du sol saturé en calcium et magnésium = autres types de sols non sodiques

**Schéma des filiations entre SALISOLS et SODISOLS**



# THIOSOLS ET SULFATOSOLS

C. Marius et A. Aubrun

Les THIOSOLS et SULFATOSOLS correspondent aux « *acid sulphate soils* » des auteurs anglo-saxons. Ils caractérisent principalement les estuaires et deltas des régions tropicales soumis à l'action de la marée, et généralement couverts d'une formation végétale spécifique : la mangrove à palétuviers. On les trouve parfois aussi dans les zones deltaïques ou marécageuses des régions tempérées (Pays-Bas, Finlande, Suède, Canada, France) et même en zones continentales (sols sur schistes pyriteux du Québec).

La pédogenèse est dominée par le soufre présent en leur sein sous forme de sulfure de fer (pyrite). C'est l'oxydation de la pyrite qui est à l'origine de l'acidification de ces sols, le principal produit de l'oxydation étant la jarosite, sulfate basique de fer et de potassium, de formule  $KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$ . La jarosite se présente sous forme de taches de couleur jaune-pâle, généralement associées aux gaines racinaires des palétuviers.

La caractérisation de ces sols doit faire appel à des méthodes spécifiques, tant sur le terrain qu'au laboratoire.

Sur le terrain, il est nécessaire d'utiliser une « pelle à vase » (demi cylindre de 6 à 8 cm de diamètre et de 1 à 1,2 m de longueur) qui permet de prélever une carotte complète, sur laquelle on mesure immédiatement le pH et le Eh à différentes profondeurs, à l'aide d'un pHmètre de terrain. L'eau de la nappe est prélevée à l'aide d'un petit flacon et sa conductivité mesurée à l'aide d'un conductimètre de terrain.

Au laboratoire les principales déterminations à effectuer sur l'échantillon séché à l'air sont : le pH, le soufre total, le carbone organique total et les sels solubles sur un extrait aqueux au 1/10.

## Principales caractéristiques

Les trois principaux caractères spécifiques des THIOSOLS et SULFATOSOLS sont la présence de taches de jarosite, la consistance et le pH.

- Les taches de jarosite sont de couleur jaune pâle 2,5 Y 8/6. Ces taches sont souvent localisées dans un horizon de couleur « purée de marron », 10 YR 4/2.

- La consistance est une donnée physique essentielle. Elle a été définie par un indice  $n$  (Pons et Zonneveld, 1965), lié à la teneur en eau, à la granulométrie et à la matière organique selon la formule :

$$n = \frac{A - (0,2 \times R)}{L + 3 H}$$

dans laquelle :

A = % d' eau dans le sol en place (calculé sur la base du sol sec)

L = % d' argile

H = % de matière organique (= carbone organique  $\times$  1,72)

R = 100 - L - H = limons + sables

Plus  $n$  est élevé, moins le sol est « mûré ». L'appréciation de la consistance permet de déterminer sur le terrain le degré de maturation physique d'un solum et 5 degrés de maturation correspondant à 5 classes de consistances ont ainsi été définis :

#### *Indice $n$ et Classes de Consistance*

Indice $n$	Classe de consistance	Degré de maturation	Description de la consistance
> 2	1	non mûré	fluide, mou, ne peut être contenu dans la main.
1,4 - 2	2	peu mûré	sans consistance, très plastique, passe entre les doigts
1 - 1,4	3	semi-mûré	très malléable, plastique, colle à la main, mais s'échappe entre les doigts.
0,7 - 1	4	presque mûré	malléable, un peu plastique, colle à la main ; nécessite de forcer pour passer entre les doigts.
< 0,7	5	mûré	très consistant, résiste à la pression de la main.

- Le pH est le principal caractère chimique qui sert à définir ces sols. En effet, mesuré sur place (pH *in situ*) il est généralement voisin de la neutralité ou très légèrement acide entre 6 et 7. Mesuré sur échantillon séché à l'air, il peut s'abaisser à des valeurs inférieures à 4, voire 3,5. L'acidité qui se développe au cours du séchage des échantillons est appelée « acidité potentielle » ; elle correspond à la différence pH *in situ* moins pH sec.

## Les horizons de référence

### Le matériau sulfidique ou thionique TH

C'est un matériau minéral ou organo-minéral, gorgé d'eau, qui contient au moins 0,75 % de soufre total (en poids sec), surtout sous forme de sulfures.

Le matériau sulfidique s'accumule dans des sols qui sont continuellement saturés en eau généralement salée ou saumâtre. Les sulfates présents dans l'eau sont réduits par voie biologique en sulfures.

Par assèchement naturel ou par drainage artificiel, les sulfures s'oxydent et produisent de l'acide sulfurique. Le pH normalement voisin de la neutralité peut s'abaisser en dessous de 2. L'acide réagit avec le sol pour former des sulfates de fer et d'aluminium (jarosite, natrojarosite, tamarugite, alun...). La transformation d'un matériau sulfidique en un horizon sulfaté peut être assez rapide (quelques années). Pour une identification rapide sur le terrain, on peut oxyder un échantillon dans l'eau oxygénée concentrée et mesurer la chute du pH.

### L'horizon sulfaté U

C'est un horizon minéral ou organo-minéral qui a toujours un pH inférieur à 3,5 (1 : 1 dans l'eau) et, le plus souvent, des taches de jarosite (couleur 2,5 Y ou plus jaune et *chroma* égal ou supérieur à 6). Des sulfates sont présents, sous forme de jarosite ou de sulfate d'alumine, avec une teneur en soufre total > 0,75 %.

## 2 Références

### THIOSOLS

Les THIOSOLS sont définis par la présence d'un matériau thionique situé à moins de 50 cm de la surface. Les caractères diagnostiques sont les suivants :

- présence de soufre élémentaire et de sulfates de fer, avec une teneur en soufre total supérieure à 0,75 % ;
- pH s'abaissant à des valeurs inférieures à 3,5 au séchage ;
- consistance fluide (« de beurre ») à très plastique :  $n > 1,4$  ;
- sans structure, parce que toujours inondés ;
- souvent intercalations d'horizons H (fibriques, mésiques ou sapriques).

### Qualificatifs utiles pour les THIOSOLS

<b>hémi-organique</b>	présence en surface d'un horizon contenant plus de 8 g/100g de carbone organique.
<b>humifère</b>	présence en surface d'un horizon contenant de 5 à 8 g/100g de carbone organique.
<b>salique</b>	conductivité de l'extrait de pâte saturée supérieure à 8 mS, sur les 50 premiers cm, toute l'année.
<b>jarositique</b>	présence de taches de jarosite dans les 50 premiers cm, mais consistance $n > 1,4$ .
<b>histique</b>	présence d'un horizon histique en surface (épaisseur inférieure à 50 cm).
<b>bathy-histique</b>	présence d'un horizon histique en profondeur.

**SULFATOSOLS**

Ils sont caractérisés par la présence d'un horizon sulfaté situé à moins de 50 cm de la surface. Consistance :  $n < 1,4$ . Un matériau sulfidique existe en profondeur.

**Qualificatifs utiles pour les SULFATOSOLS**

<b>hémi-organique</b>	un matériau sulfidique hémi-organique apparaît à plus de 50 cm.
<b>humifère</b>	un matériau sulfidique contenant de 5 à 8 % de carbone organique apparaît à plus de 50 cm.
<b>salique</b>	l'horizon sulfaté présente une conductivité (extrait de pâte saturée) supérieure à 8 mS toute l'année.
<b>rubique</b>	l'horizon sulfaté est surmonté d'un horizon à taches rouges d'oxydes de fer (hématite) résultant de l'hydrolyse de la jarosite ; le pH de cet horizon est généralement supérieur à 3,5 (anciens « sols para-sulfatés acides »).
<b>alunique</b>	présence de sulfates d'alumine soit dans les 20 premiers centimètres, soit sous forme d'efflorescences superficielles (tamarugite, alun) ; le pH <i>in situ</i> est hyper-acide, voisin de ou inférieur à 2.
<b>gypseux</b>	présence de gypse, sous forme d'efflorescences superficielles. Le pH de l'horizon sulfaté peut être supérieur à 3,5.
<b>histique</b>	présence d'un horizon histique en surface (épaisseur inférieure à 50 cm).
<b>bathy-histique</b>	présence d'un horizon histique en profondeur.

**Qualificatif utile pour d'autres Références**

<b>bathy-sulfaté</b>	présence d'un horizon sulfaté U à plus de 50 cm de profondeur.
----------------------	--

**Remarque**

Les sols qui se rapprochent le plus des SULFATOSOLS sont les « sols salso-diques » (dans les zones semi-arides), les RÉDOXISOLS et les FLUVIOSOLS. Dans tous les cas, la présence de soufre, sous forme de sulfures ou de sulfates, et la valeur du pH du sol sec  $< 3,5$  doit conduire à rattacher prioritairement un solum aux THIOSOLS ou aux SULFATOSOLS.

**Utilisation agricole**

L'aptitude des SULFATOSOLS pour une utilisation agricole dépend principalement de 4 contraintes.

### **Contraintes liées à l'excès d'eau**

Les SULFATOSOLS sont, le plus souvent, de texture fine et peu perméables. Lorsqu'ils viennent d'être récemment aménagés, selon le degré d'alluvionnement et de drainage, ils peuvent soit être complètement réduits soit présenter un mince horizon oxydé au-dessus d'horizons réduits et, même dans ce dernier cas, ils sont généralement inondés pendant la saison des pluies, donc en conditions réductiques. Pour l'utilisation agricole, deux possibilités s'offrent aux aménageurs :

- on ne peut pas investir dans le drainage et alors seules les cultures adaptées aux conditions réductiques sont possibles, ce qui limite les spéculations agricoles au riz ;

- on dispose de capitaux pour réaliser un drainage et s'assurer une parfaite maîtrise de l'eau et alors la gamme de cultures possibles est large, notamment celle de cultures industrielles pouvant permettre d'amortir les frais investis (cocotier, palmier à huile, canne à sucre, légumes, agrumes...).

### **Contraintes liées à la salinité**

Les SULFATOSOLS récemment aménagés sont plus ou moins salés et donc adaptés uniquement à des cultures tolérantes aux sels. S'il y a suffisamment d'eau douce provenant soit des pluies soit des cours d'eau, la salinité peut être éliminée, soit temporairement pendant la saison des pluies, soit de manière permanente par une poldérisation et un drainage judicieux.

De ce point de vue, il faut distinguer la zone tropicale humide où la salinité ne pose plus de problèmes quelques années après l'aménagement et la zone tropicale à longue saison sèche où la salinité peut constituer une contrainte permanente même dans les zones poldérisées. En effet, la resalinitisation en saison sèche par évaporation et remontée capillaire est un phénomène courant et saisonnier. Les cultures ne peuvent être faites qu'en saison des pluies, à condition de disposer de suffisamment d'eau douce fournie par les cours d'eau.

### **Contraintes liées à l'acidité**

A des pH inférieurs à 3,5, se développent toutes sortes de toxicités chimiques parmi lesquelles on citera les toxicités aluminiques, ferriques, manganiques et celles liées aux acides organiques solubles (sols héli-organiques). En outre, on note des carences en éléments nutritifs, notamment en phosphore, azote et éléments traces.

Toutes ces contraintes chimiques liées à l'acidité peuvent être surmontées par un aménagement approprié. Une première méthode utilisable dans le cas de la riziculture est de limiter le drainage au minimum (ne pas abaisser la nappe en dessous de 30 à 50 cm de profondeur). On évite ainsi l'acidification du sol en profondeur et donc la remontée capillaire de substances acides toxiques. Quand cela n'est pas d'un coût prohibitif et si le sol n'est pas trop acide, on peut le chauler pour neutraliser l'acidité, au moins en surface.



**Contraintes physiques**

Ce sont les plus sévères. Le défrichage est très difficile à cause de la mauvaise accessibilité. Les terrains non maturés ou seulement en surface, ont une portance faible ce qui exclut la mécanisation du défrichage et de la préparation initiale du sol. Particulièrement difficile est aussi l'aménagement des sols à horizons hémi-organiques superficiels car leur portance est faible ou nulle.

# VERACRISOLS

D. Arrouays

## Terminologie - Rappel de définitions

La « touye » est le nom vernaculaire de l'ajonc en Béarn, les « touyas » désignant les landes à ajoncs. C'est pourquoi le terme « touyasols » a été envisagé dans un premier temps comme équivalent à la périphrase « sols de touyas ». Le néologisme VERACRISOLS lui a été préféré, combinant ver- (qui rappelle l'action essentielle des vers de terre) et « acrisols » employé par la légende FAO pour désigner des sols très acides à faible taux de saturation.

Le qualificatif « **biomacrostructuré** » désigne un horizon A ou un épisolum dont la formation et la morphologie résultent de l'action intense et répétée d'animaux, principalement des vers de terre et de leurs prédateurs. L'horizon consiste principalement en chenaux, chambres et terriers, remplis de matériaux ayant transité dans l'appareil digestif des vers de terre.

Le terme « **humique** » qualifie un solum dont les horizons supérieurs organo-minéraux présentent une grande richesse en matières organiques et donc une couleur noire ou sombre, sur une épaisseur de plus de 20 cm.

## Définition

Les VERACRISOLS présentent un épisolum humifère particulier, très épais et de couleur sombre, formé par l'action principale des vers de terre (caractère biomacrostructuré) sous un climat doux et humide, dans des conditions très acides et de pédoclimat engorgé. Cet épisolum devant ses propriétés à l'activité de vers et présentant un caractère humique est nommé : **vermihumique**.

L'épisolum « **vermihumique** » est constitué d'horizons A épais, très humifères, **biomacrostructurés**, notés Ah. Ces horizons Ah, épais de 50 à 150 cm, présentent à leur sommet des teneurs en carbone organique comprises entre 2 et 10 % et une diminution régulière de ce taux avec la profondeur (caractère clinohumique). Le rapport C/N varie de 12 à 18. La structure est grumeleuse ou polyédrique arrondie, en grande partie construite par des vers

anéciques géants du genre *Scherotheca* (Bouché, 1970) : abondance des che-naux et des boulettes fécales de grandes dimensions ( $\phi$  7 à 8 mm). La macroporosité est très importante (porosité totale supérieure à 50 %), en relation avec la biomacrostructuration et avec l'abondance des conduits biologiques. Les densités apparentes sèches sont faibles, le plus souvent comprises entre 1,0 et 1,4. Cet épisolum se prolonge par de nombreuses galeries et chambres de lombriciens qui pénètrent dans les horizons sous-jacents. Sa texture est à dominante fine (limon moyen, limon argileux, ou argile limoneuse).

En zones non cultivées (lande), le pH est très acide, tamponné par l'aluminium, généralement compris entre 4,0 et 4,9, assez constant sur l'ensemble du solum. Le rapport S/T est inférieur à 30 %, l'aluminium échangeable représente de 2 à 7  $\text{cmol}^+/\text{kg}$  et décroît légèrement avec la profondeur, il occupe 10 à 50 % de la CEC. Le rapport  $\text{Al}^{+++}/\text{S}$  est toujours supérieur à 1.

La couleur est foncée à l'état humide (10 YR 3/2 ou *chroma* inférieur), et s'éclaircit assez fortement en séchant (gain d'au moins 2 unités en *chroma*). Ces horizons Ah, bien que très acides, ne présentent pas de caractères podzoliques.

## Les horizons labourés

Par suite du défrichement et de la mise en culture intensive de ces sols (maïs), le caractère humique tend lentement à disparaître dans l'horizon de surface. Il y a resaturation du complexe adsorbant et disparition de l'aluminium échangeable. Avec le temps, la population de vers diminue, la structure grumeleuse de l'horizon labouré se dégrade : l'horizon Ah devient LAh puis LA.

Cependant, les marques de brassage et d'incorporation de matières organiques ainsi que la structure pédobiologique qui en résulte se conservent néanmoins dans les horizons profonds qui présentent alors un caractère « bathy-vermihumique » (vermihumique en profondeur). Ce caractère est encore observable dans des sols cultivés depuis 30 ans. On peut néanmoins s'interroger sur sa pérennité à plus long terme.

## Écologie - Pédogenèse

En France, les VERACRISOLS s'observent sous un climat tempéré atlantique, particulièrement doux et humide toute l'année (Pays basque, Béarn, Chalosse) : précipitations moyennes annuelles comprises entre 1 000 et 1 600 mm (bien réparties) et températures moyennes annuelles comprises entre 12 et 14 °C.

Ils sont principalement développés en situation plane sur les dépôts limoneux des terrasses anciennes des gaves pyrénéens, dont les niveaux profonds argilo-caillouteux sont des paléosols ferrallitiques. Les solums montrent toujours en profondeur des horizons peu perméables (BTgd et II F, ou II F seul lorsque l'horizon BTgd a été entièrement brassé par la faune du sol), à caractères rédoxiques. Le pédoclimat étant humide, la lande acidiphile et hygrophile est essentiellement constituée d'ajoncs (*Ulex europaeus* et *Ulex nanus*),

de fougères (*Pteridium aquilinum*) et plus localement d'espèces plus hygrophiles telles que *Molinia coerulea*.

L'accumulation de matières organiques résulte de la combinaison d'une végétation florissante et d'un pédoclimat particulièrement humide. Malgré la forte acidité, l'intense activité biologique des vers de terre tend à approfondir considérablement les horizons Ah, et se manifeste jusqu'à une profondeur importante (parfois plus de 2 mètres), par de nombreuses galeries et chambres, qui constituent autant de chemins préférentiels pour la circulation de l'eau et le développement racinaire.

Dans ces mêmes régions, d'autres matériaux (d'âge pliocène) portent localement des VERACRISOLS en conditions de situation topographique et de pédoclimat comparables. De nombreux autres solums présentent des caractères « vermihumiques », mais insuffisamment accentués pour être exclusivement rattachés à cette Référence (ALOCRISOLS-VERACRISOLS, ALOCRISOLS HUMIQUES et BRUNISOLS OLIGOSATURÉS issus de flysch).

### Solums diagnostiques (Chalosse, Pays basque, Béarn)

**Sous lande**, un horizon Ah épais de plus de 50 cm est obligatoire :

Ah/E ou Eg/BTgd/II F  
Ah/BTgd/II F                      ou Ah/II F

Un horizon OL mince est possible. La litière est rapidement détruite et incorporée à l'horizon Ah.

**Sous culture**, la présence d'un horizon Ah est obligatoire, sous un LAh ou un LA, avec sa base située à plus de 50 cm de profondeur :

LAh ou LA/Ah/E ou Eg/BTgd/II F  
LAh ou LA/Ah/BTgd/II F  
LAh ou LA/Ah/II F

Lorsque la mise en culture a totalement modifié les caractéristiques des horizons supérieurs, les solums peuvent ne plus être rattachés à la Référence VERACRISOLS, mais peuvent être encore qualifiés de « vermihumiques » ou « bathy-vermihumiques » (par exemple : LUVISOL DÉGRADÉ resaturé, bathy-vermihumique, glossique, drainé).

### Qualificatifs utiles

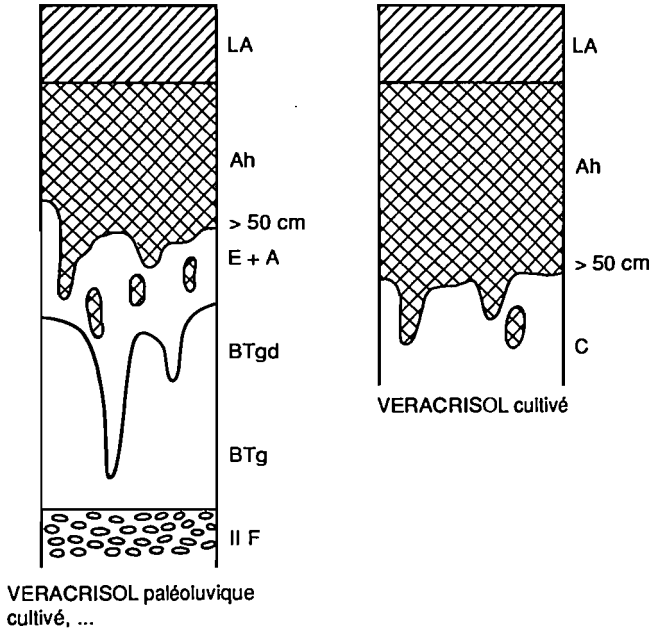
<b>mésosaturé</b>	rapport S/T de l'horizon LAh ou LA compris entre 50 et 80 % (sous culture - rattachement imparfait).
<b>resaturé</b>	rapport S/T de l'horizon LAh ou LA supérieur à 80 % sous l'influence de la mise en culture.
<b>leptique</b>	épaisseur des horizons Ah comprise entre 30 et 50 cm d'épaisseur (rattachement imparfait).
<b>pachique</b>	épaisseur des horizons Ah supérieure à 1 m.

**paléoluviq**

les horizons Ah résultent du brassage des horizons supérieurs d'un LUVISOL DÉGRADÉ et le solum présente encore des horizons profonds de type BTgd, parfois Eg (cas le plus général sur terrasses des gaves).

**bathy-  
vermihumique**

qualifie un solum ne correspondant pas (ou ne correspondant plus) complètement à la définition des VERACRISOLS mais présentant, en profondeur, de nombreux volumes sombres brassés par les vers de terre et à forte teneur en matières organiques.

**Exemples de types**

- VERACRISOL pachique, paléoluviq, limono-argileux, d'alluvions mindéliennes du Gave de Pau.
- VERACRISOL resaturé, cultivé, drainé, paléoluviq, argilo-limoneux, sur cailloutis altéré mindélien du Gave d'Oloron.
- VERACRISOL limono-argileux, colluvio-alluvial, sur argile à galets fersiallitique pliocène.
- VERACRISOL pachique, rédoxique, limoneux, paléoluviq, de dépression, de terrasse mindélienne.

## **Relations avec d'autres Références**

### **Relations typologiques**

Les VERACRISOLS présentent un certain nombre de caractères communs avec :

- les ALOCRISOLS HUMIQUES avec la différence notable des caractères liés à la bio-macrostructuration dans les horizons Ah ; possibilité d'une transition par l'intermédiaire d'ALOCRISOLS-VERACRISOLS (rattachement double) ;
- les LUVISOLS DÉGRADÉS et les LUVISOLS-RÉDOXISOLS (dont ils sont souvent issus) ;
- les CHERNOSOLS, car ils présentent aussi le caractère vermihumique ; mais ils s'en distinguent complètement par leur ambiance acide et aluminique et par leur pédoclimat doux et humide.

### **Relations spatiales**

Lorsque le pédoclimat devient encore plus humide (bas-fonds), on passe progressivement à des RÉDOXISOLS humiques, à des RÉDUCTISOLS humiques, voire à des HISTOSOLS.



# VERTISOLS

## Concept central

Ce GER regroupe des solums argileux majoritairement smectitiques qui, suivant les saisons alternativement sèches puis humides, gonflent ou se rétractent fortement. Il en résulte une dynamique hydrique et structurale particulière et très contrastée d'où découlent des propriétés agronomiques et géotechniques spécifiques. Les différences de structure entre les différents horizons des VERTISOLS résultent de la dynamique de dessèchement (lequel est d'autant plus intense que l'horizon est situé près de la surface) et du poids des horizons sus-jacents (d'autant plus grand que l'horizon est profond) :

- **en périodes humides**, le gonflement non isotrope de la masse argileuse crée des pressions et des mouvements internes responsables des faces de glissements et de la réhomogénéisation perpétuelle des solums (pédoturbation). A la surface, apparaît souvent une alternance de micro-monticules et de micro-dépressions dite micro-relief « gilgai » ;

- **en périodes de dessèchement**, on observe la formation de larges et profondes fentes de retrait et la manifestation d'une organisation structurale grossière et anguleuse très fortement exprimée.

Dès sa naissance (1960), le concept de VERTISOL a fait l'accord quasi-unanime des pédologues. On savait depuis longtemps que, dans des régions assez humides mais avec une saison sèche, il existait des sols argileux, profonds, de couleur foncée, capables d'un gonflement important : Grumosols, Regurs (Inde), Tirs (Maroc), Black Cotton soils (Afrique de l'Est), Argiles noires tropicales (Afrique centrale), Smolnitsa, etc.

Les VERTISOLS sont reconnus par la légende FAO révisée (1988, 1989) et par le WRB (1994) avec des définitions très voisines.

## Définition - Solum diagnostique

- présence des horizons SV et V obligatoire, l'horizon V débutant à moins de 100 cm de la surface (cf. p. 50) ;

- solum diagnostique : Av ou LAV ou Lv/SV/V ;

- tous ces horizons ont une teneur en argile supérieure ou égale à 40 % sur toute leur épaisseur ; le profil granulométrique est donc peu différencié (sauf



cas des PARAVERTISOLS) ; en revanche, il existe une forte différenciation structurale dans l'ensemble du solum ;

- en profondeur, on passe à un horizon C, à des couches M ou R ou bien à des horizons d'accumulation de carbonates ou de sulfates (horizons K ou Y).

## Caractères morphologiques

La différenciation des solums est faible ou nulle en ce qui concerne la granulométrie. En revanche, la très forte dynamique hydrique saisonnière est responsable de la nette différenciation structurale des horizons Av, SV et V.

### Autres horizons

Des variantes de l'horizon V peuvent être observées dans différents contextes.

- Vk horizons V montrant des accumulations de calcaire secondaire (amas, nodules) et faisant transition vers un horizon plus profond Sk ou K ; la teneur en carbonates demeure relativement faible ; un horizon V dont les faces de glissement sont scellées par des carbonates n'est plus fonctionnel ;
- Vy partie inférieure d'un horizon V contenant du gypse (plus de 5 %) ;
- Vs horizons V montrant des accumulations noires de fer et surtout de manganèse ;
- VNa horizon V présentant également les propriétés de l'horizon sodique (rapport  $\text{Na}^+/\text{T} > 15\%$ ) ;
- VSa horizon V présentant également les propriétés de l'horizon salique ;
- Vg à caractères rédoxiques.

Des horizons S ou Sk sont possibles sous l'horizon V ainsi que des horizons C, K ou Y.

### Les macro-fentes

Ces « fentes de retrait » se développent au cours du temps dès le début de la saison sèche. Elles naissent dans l'horizon SV puis s'élargissent et s'approfondissent en fonction de la perte en eau du solum, lui-même fonction du climat de l'année. Certaines années particulièrement sèches, elles peuvent affecter l'ensemble des horizons SV et V. Sous végétation naturelle, elles peuvent être masquées par l'horizon Av micro-polyédrique. Les fins agrégats formés en surface tombent souvent dans les macro-fentes, contribuant ainsi au brassage et au mélange des horizons (pédoturbation).

A la saison des pluies, les fentes se ferment. Certaines années, elles peuvent être oblitérées par le labour, mais cependant persister en profondeur.

### **Le micro-relief gilgai**

Le micro-relief gilgai est souvent typique des VERTISOLS. Il consiste soit en une succession de micro-dépressions fermées et de micro-monticules sur des surfaces presque planes, soit de micro-vallées et en micro-crêtes parallèles suivant le sens de la pente. La hauteur des micro-crêtes est de l'ordre de quelques centimètres jusqu'à un maximum de 1 m. Ce micro-relief est la conséquence du gonflement différentiel de la masse du sol à la période de réhumectation et de fermeture des macro-fentes.

Mais l'existence d'un micro-relief gilgai n'est pas exclusif aux VERTISOLS et les terrains constitués de VERTISOLS peuvent en être dépourvus.

### **Traits pédologiques**

Les plus nets concernent les agrégats en plaquettes obliques et les faces de glissement typiques de l'horizon V (cf. p. 50).

Les composants solubles, sulfates et carbonates, peuvent être redistribués et se concentrer dans les VERTISOLS soit à l'état diffus soit à l'état figuré de pseudo-mycélium ou d'amas pulvérulents, voire de nodules dans les horizons C profonds. Les accumulations peuvent même aller jusqu'à la formation de véritables horizons K ou Y. Des nodules et « plombs de chasse » ferro-manganiques, plus ou moins sphériques de quelques millimètres de diamètre sont fréquents. L'existence du manganèse peut se manifester par d'abondants revêtements noirs ou bien se limiter parfois à des dendrites ou à des ponctuations.

### **Couleur**

La couleur manifeste les divers phénomènes évoqués précédemment par des teintes 5 Y, 2,5 Y, 10 YR, avec des puretés et des clartés très basses. Il s'agit de couleurs grises, gris-foncé, parfois noires.

On appelle « mélanisation » l'acquisition par certains VERTISOLS d'une couleur très foncée bien que le taux de matière organique reste relativement modeste. C'est la nature spéciale des liaisons entre la fraction argileuse et les matières organiques qui est cause de ces teintes noires ou sombres (position interfoliaire).

Certains VERTISOLS montrent parfois des teintes rougeâtres (7,5 YR) ou franchement rouges (5 YR ou plus rouge), il s'agit probablement d'une évolution verticale de matériaux fersiallitiques.

### **Constituants**

Les fractions granulométriques largement prédominantes sont les argiles et les limons. Cependant, des cailloux, graviers et sables grossiers peuvent être présents.

Les minéraux argileux gonflants hérités ou néoformés sont largement dominants (montmorillonite, nontronite, beidellite) mais ne sont pas exclusifs. C'est ce qui explique à la fois le fonctionnement hydrique et structural, le comportement mécanique et géotechnique, la morphologie et les propriétés physico-chimiques des VERTISOLS.

Pour qu'existent et fonctionnent des VERTISOLS, une grande richesse en smectites ne suffit pas, il faut aussi que leur potentiel de gonflement puisse s'exprimer, ce qui implique des conditions stationnelles et pédoclimatiques particulières : des saisons suffisamment humides alternant avec des périodes de dessiccation suffisante.

## Comportement mécanique et géotechnique

Le potentiel de gonflement/rétraction peut être quantifié par une mesure linéaire ou volumique du retrait ou du gonflement d'un échantillon :

- Le *coefficient of linear extensibility* (= COLE - Soil Taxonomy) est défini comme le rapport de la différence entre la longueur à l'état humide et la longueur à sec d'une motte rapportée à sa longueur à sec :  $(L_h - L_s)/L_s$ , dans lequel  $L_h$  est la longueur à la capacité au champ (33 kPa) et  $L_s$  la longueur à l'état sec. Le COLE doit dépasser 0,09 pour les horizons SV et V et être supérieur à 0,06 pour l'horizon de surface.

- Le coefficient de retrait volumique (Braudeau) est défini par :

$$CRV = (V_h - V_s)/V_h$$

Le passage entre les expressions linéaire et volumique du potentiel de gonflement/retrait suppose une isotropie du gonflement ou du retrait.

$$CRV = 1 - \left( \frac{1}{COLE + 1} \right)^3$$

Pour un COLE de 0,06, le CRV est d'environ 0,16.

Pour un COLE de 0,09, le CRV est d'environ 0,23.

L'utilisation indifférente de valeurs mesurées en gonflement ou en retrait suppose la réversibilité de ces deux phénomènes.

Les VERTISOLS sont généralement assez épais (60 à 100 cm). De fortes pressions internes s'exercent dans ces sols, liées à leur hétérogénéité hydrique, notamment en période de réhumectation. Les forces de traction et de cisaillement engendrées peuvent causer des dégâts considérables aux infrastructures : les barrières des champs, les poteaux électriques, les pylônes s'inclinent dans tous les sens ; les routes ondulent ou s'effondrent ; les édifices penchent et se lézardent. Lorsqu'ils sont très humides, les VERTISOLS constituent un matériau fluant pouvant donner lieu à des glissements de terrain.

## Complexe d'échange

La méthode d'extraction des cations à l'acétate d'ammonium n'est pas toujours satisfaisante pour les horizons riches en smectites et en présence de

gypse et carbonates. La méthode d'extraction au chlorure d'ammonium en milieu éthanol (Tucker) semble donner de meilleurs résultats.

En raison de l'abondance de la fraction argile et de la prédominance des smectites, la CEC des horizons des VERTISOLS est très élevée, le plus souvent comprise entre 30 et 80 cmol<sup>+</sup>/kg. En effet, la CEC de la fraction argile est comprise entre 50 et 100 cmol<sup>+</sup>/kg d'argile.

Le complexe adsorbant est en général saturé, très majoritairement par le calcium et le magnésium. Le rapport Ca<sup>++</sup>/Mg<sup>++</sup> peut varier de 1 000 à 0,002 (Nouvelle Calédonie, solums issus de péridotite), mais il est le plus souvent compris entre 4 et 1.

La présence de quantités notables de Na<sup>+</sup> sur le complexe adsorbant (origine marine par les embruns ou altération des feldspaths sodiques) exacerbe la capacité de gonflement des VERTISOLS et ses manifestations. Souvent plus facilement lixivié que les autres cations dans la partie supérieure des solums, le sodium s'accumule en profondeur dans l'horizon V.

D'une manière générale, les VERTISOLS ont tendance à s'appauvrir à leur surface en Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, etc. et à s'enrichir dans les horizons profonds pendant la période humide. L'entraînement de ces cations et leur échange sur le complexe argilo-humique auquel ils participent se fait avec une vitesse supérieure à celle de la remontée des constituants par pédoturbation. L'horizon de surface des LITHOVERTISOLS peut donc être légèrement insaturé tant que la pédoturbation n'a pas remonté en surface, localement, de la matière provenant de la profondeur. Dans les TOPOVERTISOLS, au contraire, l'horizon de surface demeure saturé.

Le pH des VERTISOLS est généralement compris entre 6,0 et 7,0, domaine de stabilité des smectites. En présence de carbonates, il peut atteindre et dépasser 8,0. Des pH encore plus élevés (8,0 à 9,5) sont observés quand la proportion de sodium échangeable est importante. On notera enfin que le pH des horizons V contenant du gypse (Vy) est fréquemment égal ou inférieur à 5,5.

## Matières organiques

Les noyaux aromatiques des composés humiques subissent une polycondensation et leur poids atomique augmente tandis que leur mise en solution demande des pH de plus en plus élevés. La fraction humine devient importante et il s'agit d'une humine de néoformation. La quantité totale de matière organique est de l'ordre de 2 %, donc faible. Les noyaux phénoliques sont prépondérants, les chaînes aliphatiques peu développées. Les acides fulviques sont en faible proportion et dans les acides humiques, ce sont les gris qui dominent (+ de 80 % du total).

Les argiles, et les humines néoformées, contractent des liaisons physico-chimiques solides et confèrent en général une couleur noire ou gris-olive à la masse du sol. Mais la quantité de matières organiques est trop faible pour que des structures construites se manifestent sauf peut-être en surface.

L'incorporation de la matière organique aux horizons profonds est le résultat des pédoturbations d'origine mécanique qui caractérisent les VERTISOLS.

L'humine, non extractible par les procédés classiques, est une fraction dominante de la matière organique. Après traitement au glycol, les rayons X montrent fréquemment des écartements entre feuillets de 19 à 21 angstroms au lieu de 18, qui sont probablement dus à de la matière organique en position interfoliaire.

Le fer contracte avec cette matière organique très polymérisée des liaisons spéciales : il est intégré dans les molécules d'acide humique gris ou d'humine et il se trouve sous une forme peu soluble. Malgré des teneurs importantes (2 à 6 %), ce fer est très difficilement extractible même à l'état réduit.

## Conditions de gisement - Pédogenèse

Les VERTISOLS dérivent soit de produits d'altération de roches soit de sédiments fins, tous riches en minéraux argileux smectitiques (basaltes, tufs, roches métamorphiques basiques, calcaires, marnes, alluvions marines lacustres ou fluviales).

Les VERTISOLS sont observés principalement dans les zones climatiques tropicales semi-arides à sub-humides et sous climats méditerranéens, le trait essentiel étant l'alternance de saisons nettement contrastées sèches et humides. Les plus vastes superficies sont situées dans des régions où les précipitations moyennes annuelles varient de 500 à 1 000 mm. Des surfaces plus restreintes sont situées dans des régions plus humides, plus sèches ou plus froides. Les précipitations moyennes annuelles actuelles peuvent aussi bien être de 150 mm (Soudan) qu'atteindre 3 000 mm (Trinidad).

Le seul héritage suffit à expliquer l'existence des LITHOVERTISOLS. Souvent, cependant, l'héritage n'est que partiel, mais il suffit à déclencher à la fois les phénomènes physiques et les dynamismes géochimiques propres au développement des TOPOVERTISOLS. C'est alors la transformation des argiles en milieu confiné qui amplifie la proportion de smectites.

Sur roches cristallines basiques (basaltes, dolérites, péridotites), l'importante proportion des cations  $Ca^{++}$  et  $Mg^{++}$  crée un milieu d'altération confiné et la silice libérée ré-édifie facilement avec les charpentes alumineuses des minéraux gonflants. La présence de fer (abondant dans ces roches) facilite probablement cette néogenèse. Le rôle du fer est complexe. Il est intégré aussi bien dans la matière organique que dans la matière minérale. Tous les travaux récents convergent pour confirmer ce piégeage du fer. Cela explique peut-être que la mise en évidence du fer ferreux (que l'on s'attend à trouver dans des sols qui sont engorgés à la saison humide) soit très difficile.

Certaines conditions environnementales sont donc indispensables à la néogenèse des smectites :

- les précipitations doivent être suffisantes pour permettre l'altération des minéraux primaires mais le lessivage des cations alcalins et alcalino-terreux ne doit pas intervenir ;

- des températures élevées accélèrent les processus d'altération ;
- un drainage externe impossible ou très lent maintient les produits d'altération en place ;
- enfin, des périodes sèches sont nécessaires pour la cristallisation des argiles néoformées.

Dans ces conditions, les argiles smectitiques peuvent se former en présence de silice, de Ca et de Mg, si le pH est neutre ou alcalin. On peut parler d'un «auto-renforcement» (cas des TOPOVERTISOLS).

## Activité biologique - Végétation - Agriculture

L'activité biologique est plutôt faible, voire très faible sauf dans le mince horizon de surface. Très peu d'animaux et de micro-organismes sont adaptés à ce milieu très argileux, compact et sec pendant une partie de l'année. Pour les végétaux, les VERTISOLS présentent un certain nombre de contraintes sévères, mais aussi quelques aptitudes excellentes.

Les VERTISOLS sont par excellence le domaine de la savane herbacée en milieu tropical. Une forte teneur en argile et les mouvements internes associés à un climat à saison sèche marquée, en font un milieu défavorable aux arbres. A quelques exceptions près, certains Eucalyptus et certaines légumineuses, en particulier les acacias ou d'autres épineux (Prosopis), la végétation naturelle est composée d'herbacées annuelles (Daucus, Cirsium, graminées). En effet, au niveau des horizons SV et V, les grosses racines sont écrasées, aplaties, cassées par les mouvements des agrégats. D'autre part, elles pénètrent difficilement dans les agrégats très denses : au mieux, elles les recouvrent d'un lacin. En revanche, la végétation herbacée annuelle profite au maximum des horizons de surface qui retiennent bien l'eau et sont meubles dès que le sol est ressuyé.

Les VERTISOLS sont des bonnes terres à blé (Rharb au Maroc ; plaine de Foggia en Italie). Lorsqu'on peut les irriguer ou lorsque le climat est assez humide, ce sont d'excellentes terres à coton (Inde, Soudan) ou à maïs (Mexique). En revanche, la culture du riz n'est pas toujours dans les conditions optimales sur les VERTISOLS. Les baisses de potentiel induites par l'engorgement y sont plus rapides que dans les autres types de sols.

## Qualificatifs utiles

<b>leptique</b>	base de l'horizon V à moins de 50 cm de profondeur.
<b>gypsique</b>	à horizon Y situé en profondeur.
<b>calcarique</b>	à horizon K situé en profondeur.
<b>pétrocalcarique</b>	à horizon Km situé en profondeur.
<b>magnésique</b>	les horizons SV et V sont saturés ou subsaturés avec un rapport $Ca^{++}/Mg^{++}$ compris entre 2 et 0,2.

<b>hypermagnésique</b>	les horizons SV et V sont saturés ou sub-saturés avec un rapport $Ca^{++}/Mg^{++} < 0,2$ . Ce caractère a de graves conséquences agronomiques : une mauvaise assimilation du calcium par les plantes.
<b>palusmectique</b>	le solum se situe en position basse et s'est développé dans un ancien marais, naturellement ou artificiellement assaini.
<b>fluvique</b>	le solum se situe en position de vallée (lits majeur ou mineur) et s'est développé dans des matériaux alluviaux récents.
<b>ondulique</b>	solum dont une limite majeure entre horizons présente la forme d'ondes ayant environ 50 cm d'amplitude verticale pour une amplitude latérale d'environ un mètre.
<b>salique</b>	présence d'un horizon VSa.
<b>sodique</b>	présence d'un horizon VNa.
<b>rougeâtre</b>	teinte 7,5 YR et <i>chroma</i> supérieur à 1
<b>rouge</b>	teinte 5 YR ou plus rouge et <i>chroma</i> supérieur à 1.
<b>mélanisé</b>	<i>value</i> < 4 et <i>chroma</i> < 3 au moins sur l'ensemble des horizons Av et SV et sur plus de 50 cm d'épaisseur depuis la surface.

Pour des non-VERTISOLS :

<b>vertique</b>	solum dont certains horizons de profondeur présentent des caractères vertiques sans qu'il s'agisse d'un véritable VERTISOL.
<b>bathyvertique</b>	solum qui présente un horizon V typique, débutant à plus de 100 cm de profondeur.

## 4 Références

### LITHOVERTISOLS

Ils se développent dans des matériaux issus de l'altération *in situ* de roches diverses (basaltes, marnes, argiles), cette altération produisant de grandes proportions de smectites. C'est pourquoi les LITHOVERTISOLS sont relativement indépendants du climat et peuvent être observés sous climats tempérés (Gâtinais, Limagne) ou continentaux (Balkans). Dans les paysages ondulés, ils occupent plutôt des positions d'interfluve.

Ils présentent tous les caractères généraux des VERTISOLS, notamment la séquence d'horizons SV/V bien développés. La profondeur des LITHOVERTISOLS est limitée à la profondeur d'action hydrolysante des eaux de pluie.

Les LITHOVERTISOLS sont alimentés seulement par les apports directs des pluies (et non par accumulation d'eaux dans les points bas) et un drainage externe est possible. C'est pourquoi ils montrent une tendance à une certaine lixiviation des horizons supérieurs pendant les périodes humides. La pédoturbation qui se manifeste de temps à autre rapporte en surface des matériaux saturés en cations alcalins et alcalino-terreux. Si elle n'est pas suffisante,

le sol évolue à la longue vers les PARAVERTISOLS et, à plus long terme, vers les PLANOSOLS avec lesquels ils sont parfois associés. Ainsi, à la différence des TOPOVERTISOLS qui évoluent dans le sens d'un « auto-renforcement », les LITHOVERTISOLS évoluent plutôt vers une dé-vertisolisation.

L'horizon V correspond à la définition générale alors que l'horizon SV peut être légèrement insaturé.

Les LITHOVERTISOLS épais peuvent présenter un horizon S de transition entre l'horizon V et l'horizon C sous-jacent.

### TOPOVERTISOLS

VERTISOLS situés en position de bas-fonds : plaines alluviales, dépressions karstiques, cuvettes à micro-relief gilgai, etc. dont le régime hydrique est plus humide que le régime climatique.

Ils ont les caractères généraux des VERTISOLS : séquence d'horizons SV/V bien développés et sont, en général, plus épais que les LITHOVERTISOLS auxquels ils sont éventuellement associés. La différence avec ces derniers vient essentiellement de l'horizon SV qui est confiné, saturé en cations alcalins et alcalino-terreux et qui présente un pH neutre ou alcalin.

Les TOPOVERTISOLS existent sous des climats à saisons contrastées. Pendant la saison humide des altérations interviennent. Puis les ions libérés se concentrent à la saison sèche et néoformont montmorillonites, nontronites et beidellites. Cette concentration peut avoir lieu sur place (sur roches basiques ou marnes) ou bien dans les points bas du paysage.

L'altération des matériaux originels riches en minéraux basiques ou « mafiques » comme les plagioclases, l'anorthite et les ferro-magnésiens mène, en conditions confinées, à la formation de minéraux smectitiques. Coexistent donc à la fois des transformations des minéraux primaires et des néogénèses favorisées par un pH légèrement basique et la présence de grandes quantités de Si et de Mg.

Les TOPOVERTISOLS se forment dans des cuvettes ou sur des zones plates. Ils montrent des caractères en relation avec un régime confiné ainsi qu'avec un régime hydrique marqué par un bilan positif : engorgement et hydromorphie, minéraux primaires ou secondaires carbonatés ou sulfatés, charge du complexe adsorbant en sodium, parfois accumulation de matières organiques, etc.

De par leur fonctionnement géochimique, les TOPOVERTISOLS évoluent donc dans le sens d'un « auto-renforcement ».

### PARAVERTISOLS HAPLIQUES

Solums ayant les principaux caractères des VERTISOLS (présence des horizons SV et V) mais dont les horizons de surface A ou LA sont nettement moins riches en argile (moins de 40 %) et ne présentent plus les propriétés vertiques.

Solum diagnostique : A ou LA non vertique/SV/V/C, M, R, K ou Y.



Ces solums existent sous des climats intertropicaux où les précipitations excèdent un mètre. Les PARAVERTISOLS correspondent à un état de déséquilibre, à un stade d'évolution vers d'autres types de sols (PLANOSOLS, SODISOLS, etc.).

#### PARAVERTISOLS PLANOSOLIQUES

Solums ayant les principaux caractères des VERTISOLS (présence des horizons SV et V) mais dont les horizons supérieurs (sur 20 à 30 cm d'épaisseur) sont nettement appauvris en argiles et ne présentent plus les propriétés vertiques. Un horizon E ou Eg mince mais bien reconnaissable existe entre l'horizon de surface et l'horizon SV, avec une transition inférieure abrupte. Des revêtements limoneux blanchâtres lavés (squelettanes) y sont visibles, indices du phénomène de « dégradation géochimique » des minéraux argileux. Ce phénomène est lié à des engorgements temporaires de l'épisolum pendant la saison humide, suite au gonflement de la partie supérieure de l'horizon SV.

Solum diagnostique : A ou LA/Eg/SV ou SVg/V ou Vg/C, M, R, K ou Y.

Les horizons A et Eg sont souvent insaturés (rapport S/T inférieur à 80 %).

De tels solums existent notamment sous les climats tropicaux et sub-tropicaux contrastés humides (plus de 1 000 mm de précipitations) à longue saison sèche d'au moins 6 mois. Ils constituent un intergrade vers les PLANOSOLS TYPIQUES vertiques.

### Relations avec d'autres GER

De nombreuses transitions tant spatiales que chronoséquentielles peuvent être signalées :

- vers les PLANOSOLS TYPIQUES par l'intermédiaire des PARAVERTISOLS,
- vers les SODISOLS SOLONETZIQUES sous l'influence croissante de l'ion sodium,
- vers les SALISOLS (abondance des sels solubles),
- vers les CALCISOLS CLINOHUMIQUES (« sols bruns eutrophes tropicaux vertiques ») par amélioration du drainage interne ou synthèse smectitique plus faible,
- vers les GYPSOSOLS et autres solums des milieux arides,
- vers les FERSIALSOLS lorsqu'on remonte dans les paysages,
- vers les RÉDUCTISOLS et RÉDOXISOLS lorsque les conditions d'engorgement ou d'imbibition demeurent permanentes ou quasi-permanentes,
- etc.

---

Cette 11<sup>e</sup> version résulte des travaux d'un groupe constitué de J.P. Rossignol, P. Podwojewski, B. Kaloga et D. Baize à partir d'un texte de J. Boulaine.

Remerciements également à Y. Coquet, S. Sinaj, N. Ninov, T.G. Boyadgiev, Gh. Lupascu et T. Andonov pour leur collaboration.

# **Annexes**



## ANNEXE 1

# TYPOLOGIE DES FORMES D'HUMUS

(Forêts des climats tempérés)

Travaux d'un groupe de travail formé par A. Brêthes, J.J. Brun, B. Jabiol, J.F. Ponge et F. Toutain, avec la participation de B. Souchier et M.B. Bouché.

Les personnes dont les noms suivent ont été destinataires de versions intermédiaires et ont pu nous apporter leurs critiques ou leurs remarques que nous avons pris en compte autant que possible : P. Arpin, M. Bonneau, F. Delecour, P. Duchaufour, A. Franc, P. Gensac, A. Hubert, F. Jacquin, J.P. Legros, F. Le Tacon, G. Levy, L.M. Riviere et F. Weissen. Cette participation n'implique cependant aucunement leur adhésion au texte ici présenté (7<sup>e</sup> version, décembre 1994).

L'évolution des connaissances sur la transformation biologique des litières permet actuellement de mieux comprendre et interpréter la morphologie des horizons humifères de surface (O et A) en terrain non agricole.

Les différents types de successions verticales des horizons O et A dans les solums correspondent à différents stades d'évolution de la matière organique, spécifiques dans leur contexte pédoclimatique et leur contexte de matériau.

La reconnaissance et l'interprétation de ces horizons de surface sont d'un intérêt important dans le diagnostic pédologique mais encore plus dans le « diagnostic stationnel » où l'on cherche à corréliser les caractères du sol à la composition floristique du groupement végétal qu'il supporte ou au comportement des essences forestières.

Un référentiel morphogénétique de ces successions d'horizons humifères de surface est proposé pour les régions tempérées où les fonctionnements biologiques sont les mieux connus.

Son principe d'utilisation est le même que celui des sols : description morphologique, voire analytique des horizons, rapprochement avec les horizons concepts définis dans le Référentiel Pédologique (horizons O et A), puis rattachement de l'« épisolum-image » avec ses successions d'horizons à une « forme d'humus » du Référentiel.

Le système est cependant moins souple car le rattachement à plusieurs références paraît difficile, mais il est malgré tout ouvert.

En ce qui concerne les sols sous pelouses, landes et terrains cultivés, les études sont à l'heure actuelle moins poussées et ne permettent pas de conduire à une typologie précise ; la typologie des formes forestières présen-

tée ci-dessous se veut cependant compatible avec une démarche en milieu non forestier.

Les études générales des formes d'humus en régions tropicales demeurent très insuffisantes, c'est pourquoi ces formes ne sont pas traitées ici.

## Définitions

### Épisolum humifère

ensemble des horizons supérieurs d'un solum contenant de la matière organique et dont l'organisation est sous la dépendance essentielle de l'activité biologique. C'est « l'humus formen » de Müller (1887) traduit par « forme d'humus » par les pédologues belges et par « type d'humus » par les pédologues canadiens.

### Humus

(sens introduit par Thaer, 1809) L'humus est la fraction de la matière organique du sol transformée par voie biologique et chimique. Pour Lozet et Mathieu (1986), c'est « l'ensemble des produits d'altération ou en voie d'altération de la matière organique du sol ».

Selon l'approche et le niveau de perception de l'épisolum humifère, nous utiliserons les termes ci-dessous inspirés d'une terminologie française ou étrangère et couramment utilisée en milieux forestiers :

### Type fonctionnel d'humus

ensemble des caractères relatifs au fonctionnement biotique et abiotique de l'épisolum humifère. La définition d'un type fonctionnel fait appel aux espèces de la faune ou de la flore du sol intervenant dans la transformation des litières.

### Forme d'humus

ensemble des caractères morphologiques macroscopiques de l'épisolum humifère (horizons O et A et leur succession), dépendant de son mode de fonctionnement. Cette définition correspond à l'acception courante du mot « humus » en milieu non cultivé. Le Référentiel Pédologique rejette ce dernier terme qui prête à confusion ; avec le même sens, l'expression « Type d'humus » est à éviter comme trop ambiguë. Elle répond en effet à deux autres définitions (différentes) données par les pédologues belges et canadiens.

### Organique

- sens courant (Petit Robert, 1982) : « qui provient de tissus vivants ou de transformations subies par les produits extraits d'organismes vivants ». Exemple : matière organique ;  
- pour le Référentiel Pédologique, les horizons organiques sont les horizons O.

*Remarque* : pour qualifier un horizon contenant des quantités notables de matière organique, on n'emploiera pas l'expression « horizon organique » mais « horizon organo-minéral » ou « horizon héli-organique » ; cf. ces termes).

- Hologranique** horizon entièrement constitué de matières organiques, humifiées ou non, pratiquement sans matière minérale (horizon H ou O). Deux seuils analytiques sont proposés :
- plus de 30 g/100 g de **carbone** organique dosé par la méthode Anne (ou Walkley-Black) ;
  - **ou** plus de 50 g/100 g de perte au feu à 600 °C (cf. annexe Méthodes d'analyses).
- Remarque* : certains horizons OH minces ne répondent pas aux critères ci-dessus bien qu'ils puissent être qualifiés d'holorganiques.
- Héliorganique** horizon non hologranique comportant plus de 8 g/100 g de carbone organique dosé par la méthode Anne (ou Walkley-Black).
- Organo-minéral** qualifie un horizon constitué d'un mélange de matières organiques et minérales, et qui n'est ni hologranique ni héliorganique.
- Humifère**
- sens courant : horizon ou solum qui contient de la matière organique humifiée ;
  - définition du Référentiel Pédologique : horizon ou solum qui contient beaucoup plus de carbone organique que la « norme » (norme variable selon l'horizon de référence ou la Référence considérés). Ce terme qualifie des horizons non holograniques (notation -h pour un horizon).
- Humique**
- sens courant : relatif à l'humus (Littre, 1886). Exemples : bilan humique, acide humique, profil humique ;
  - définition du Référentiel Pédologique : qualifie un épisolum dont les horizons supérieurs sont caractérisés par une grande richesse en matière organique et qui présentent en conséquence une couleur noire sur au moins 20 cm d'épaisseur.

## Principes de la typologie présentée

La plupart des référentiels proposent de classer les formes d'humus forestières en premier lieu d'après la morphologie et la succession des couches holograniques (horizons O) (cf. Delecour en Belgique, Klinka *et al.* au Canada, Babel en Allemagne).

Cette démarche, également utilisée en France, ne présente pas d'inconvénient pour la caractérisation de la plupart des formes d'humus des forêts tem-

pérées, mais elle ne peut plus être utilisée pour certains épisolums humifères de montagne ou de région méditerranéenne : elle oblige alors à appeler « moder » des types fonctionnels d'humus à horizons OH mais dans lesquels les horizons A ont une activité biologique caractéristique des horizons A des mulls (anciens moders ou mors calciques).

Or la typologie présentée ci-dessous ne se veut pas uniquement morphologique mais **morphogénétique** ; les différences morphologiques ont l'intérêt d'être des éléments de diagnostic faciles d'approche et sont censées refléter une différence de fonctionnement. Le choix des seuils artificiels, comme tout découpage dans un continuum, doit être dicté plus par des différences de fonctionnement biologique et physico-chimique que par des critères morphologiques.

Ces considérations, ainsi que le souhait de trouver une adéquation entre les épisolums humifères forestiers et cultivés, nous ont amené, en dehors de la séparation formes d'humus aérées et formes soumises à un engorgement temporaire, à présenter une **typologie reposant en premier lieu sur une caractérisation du fonctionnement des horizons A** :

- forme de la matière organique et liaison avec les éléments minéraux,
- traces d'activité biologique.

Ces critères morphologiques peuvent être précisés par des critères analytiques (nature de la matière organique) ou biologiques (espèces animales présentes).

Cette première étape conduit à trois types de fonctionnement radicalement différents, qui correspondent aux appellations classiques mull, moder, mor pour les épisolums aérés (mull et moder seulement en milieux cultivés et sous pelouses).

Dans un deuxième temps, la forme d'humus est précisée, en milieu forestier, par la morphologie des horizons holorganiques :

- types d'horizons présents,
- épaisseurs,
- structure, présence de racines, mycéliums...

Cette étape conduit à une dénomination plus précise (que l'on pourrait appeler « référence ») de la forme d'humus. Exemples : eumull, oligomull, hémimoder, eumoder, etc.

La troisième étape permet de préciser des caractéristiques physico-chimiques ou des spécificités de fonctionnement à l'aide de l'adjonction de qualificatifs. Exemples : eumull carbonaté humique, mésomull andique.

Le tableau 1 (v. p. 290) présente les différentes références connues en milieu forestier sous climats tempérés. Il met en évidence des types fonctionnels peu étudiés pour lesquels des caractérisations restent à faire.

Les différents horizons O et A de référence sont décrits dans le Référentiel Pédologique (au chapitre « horizons »). Rappelons que les horizons A peuvent avoir un caractère particulièrement humifère par blocage de la minéralisation (épisolums dits « **humiques** »).

## Schéma des principales formes d'humus forestières et des sols agricoles des climats tempérés

### Formes d'humus forestières

- Cas 1 • horizon A biomacrostructuré **et/ou** à complexe argilo-humique  
• discontinuité entre horizons O et horizon A ..... MULL
- Cas 2 • horizon A de juxtaposition  
• passage progressif entre les horizons O et A  
• succession d'horizons OL, OF, A ou, le plus souvent,  
OL, OF, OH, A ..... MODER
- Cas 3 • horizons OL, OF et OH épais  
• passage très brutal entre un horizon OH et un horizon organo-minéral quelquefois humifère (matière organique de diffusion) .... MOR

### Formes d'humus des sols agricoles, landes et pelouses

- Cas 4 • horizon A biomacrostructuré ..... MULL ou AGRI-MULL
- Cas 5 • horizon A de juxtaposition ..... MODER ou AGRI-MODER

Cas particulier (pour les 5 cas ci-dessus) : horizons A épais et de couleur noire = forme « humique » ou « clinohumique ».

## Qualificatifs pouvant être utilisés pour caractériser les épisolums humifères (liste non exhaustive)

La plupart des qualificatifs ci-dessous sont définis et utilisés dans le Référentiel Pédologique. Les définitions ci-dessous sont simplement légèrement adaptées aux épisolums humifères.

### Qualificatifs relatifs aux accumulations de matière organique dans les horizons A

<b>humifère</b>	qualifie un horizon non holorganique qui contient beaucoup plus de carbone organique que la norme correspondant à la Référence ou à l'épisolum (notation -h).
<b>humique</b>	qualifie une forme d'humus dont l'(es) horizon(s) A est (sont) caractérisé(s) par une grande richesse en matière organique et qui présente(nt) en conséquence une couleur noire sur au moins 20 cm d'épaisseur.
<b>clinohumique</b>	qualifie un épisolum A à forte accumulation de matières organiques fortement colorées et très liées à la matière minérale, montrant des teneurs élevées en surface et une diminution progressive avec la profondeur. Remplace désormais le terme « isohumique ».



**clair** qualifie une forme d'humus dont l'horizon A est à faible teneur en matières organiques parce que celles-ci subissent une minéralisation très rapide ; d'où une couleur « claire » de l'horizon A.

### Qualificatifs relatifs aux caractéristiques chimiques de l'horizon A

Si le solum comprend plusieurs horizons A, sont prises en considération prioritairement les caractéristiques du premier de ces horizons.

#### **pH eau** (tolérance 0,2 unité)

**hyper-acide** forme d'humus dont l'horizon A a un pH < 3,5.  
**très acide** forme d'humus dont l'horizon A a un pH compris entre 3,5 et 4,2.  
**acide** forme d'humus dont l'horizon A a un pH compris entre 4,2 et 5,0  
**peu acide** forme d'humus dont l'horizon A a un pH compris entre 5,0 et 6,5.  
**neutre** forme d'humus dont l'horizon A a un pH compris entre 6,5 et 7,5.  
**basique** forme d'humus dont l'horizon A a un pH compris entre 7,5 et 8,7.  
**très basique** forme d'humus dont l'horizon A a un pH > 8,7.

#### **Rapport S/T** (T mesurée à pH 7)

**saturé** qualifie une forme d'humus dont l'horizon A, non carbonaté, a un complexe adsorbant entièrement saturé par les cations échangeables alcalino-terreux et alcalins et principalement par  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$ , d'où un rapport S/T =  $100 \pm 5$  %.  
**subsaturé** qualifie une forme d'humus dont l'horizon A, non carbonaté, a un rapport S/T compris entre 95 et 80 %.  
**mésosaturé** qualifie une forme d'humus dont l'horizon A a un rapport S/T compris entre 80 et 50 %.  
**oligosaturé** qualifie une forme d'humus dont l'horizon A a un rapport S/T compris entre 50 et 20 %.  
**désaturé** qualifie une forme d'humus dont l'horizon A a un rapport S/T inférieur à 20 %.

**Abondance relative de  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Na^+$** 

<b>carbonaté</b>	forme d'humus dont la terre fine de l'horizon A contient des carbonates de $Ca^{++}$ et/ou $Mg^{++}$ , primaires ou secondaires. Effervescence généralisée.
<b>calcique</b>	qualifie une forme d'humus dont l'horizon A est non carbonaté mais saturé ou subsaturé, et dans lequel $Ca^{++}$ est largement dominant (rapport $Ca^{++}/Mg^{++} > 5$ ).
<b>calcimagnésique</b>	qualifie une forme d'humus dont l'horizon A est non carbonaté mais saturé ou subsaturé, et dans lequel le rapport $Ca^{++}/Mg^{++}$ est compris entre 5 et 2.
<b>magnésique</b>	qualifie une forme d'humus dont l'horizon A est non carbonaté mais saturé ou subsaturé, et dans lequel le rapport $Ca^{++}/Mg^{++}$ est $< 2$ (mais supérieur à $1/3$ ).
<b>hyper-magnésique</b>	qualifie une forme d'humus dont l'horizon A est non carbonaté mais saturé ou subsaturé, et dans lequel le rapport $Ca^{++}/Mg^{++}$ est $< 1/3$ .
<b>sodique</b>	qualifie une forme d'humus dans l'horizon A duquel $Na^+$ est $> 6\%$ de T.

**Caractères de l'horizon A liés à des processus pédogénétiques**

<b>chernique</b>	qualifie une forme d'humus dont l'horizon A présente les caractères d'un horizon A chernique.
<b>andique</b>	qualifie une forme d'humus dont l'horizon A présente des propriétés andiques.
<b>pélosolique</b>	qualifie la forme d'humus des PÉLOSOLS dont l'horizon A épais et sombre a une structure polyédrique assez grossière, nette et très stable ; la présence d'argiles gonflante empêche les structures biologiques grumeleuses de rester exprimées.
<b>colluviale</b>	qualifie une forme d'humus d'un solum dont la plus grande partie des matériaux et principalement ceux des horizons A est d'origine colluviale (apports essentiellement latéraux). Cela se traduit par une forte macro-porosité et favorise l'activité biologique.

**Texture de l'horizon A**

Elle peut être précisée : sableux, limono-sableux, argilo-limoneux, etc.

*Exemple* : eumull calcique argilo-limoneux (dont l'horizon A est argilo-limoneux) ; dysmoder désaturé sableux (dont l'horizon A est sableux).

## Caractères des horizons O

<b>mycogène</b>	qualifie une forme d'humus dont la dynamique est liée à l'activité dominante des champignons dans les horizons O.
<b>à structure mycogène</b>	qualifie une forme d'humus dont la structure de l'horizon O est due essentiellement à la présence de grandes quantités de mycéliums.
<b>à structure rhizogène</b>	qualifie une forme d'humus dont la structure de l'horizon O est due essentiellement à la présence de grandes quantités de racines fines.

Qualificatifs utilisables pour préciser la structure des horizons O, demandant cependant une définition : feuilletée, fibreuse, granulaire, squameuse, continue...

## Origine des matières organiques fraîches

de feuillus, de résineux, de pelouse,... ou plus précisément : de hêtres, de frênes, d'épicéas, etc.

*Remarque* : les termes trophiques (eutrophe, mésotrophe, oligotrophe) ont été abandonnés pour caractériser des épisolums humifères.

## Formes et types fonctionnels d'humus forestiers sous climats tempérés

### *Remarques préliminaires :*

- il n'est pas possible, à l'heure actuelle, de présenter une typologie précise en ce qui concerne les formes d'humus des sols agricoles et de ceux sous pelouses qui prendrait en compte leur cinétique de fonctionnement ;

- outre la démarche de rattachement aux types proposés ci-dessous, des critères analytiques (rapports C/N et S/T, pH, aluminium échangeable, etc.) sont indispensables à la caractérisation précise des formes d'humus décrites sur le terrain et à leur possibilité de corrélations avec des groupes floristiques socio-écologiques.

4 horizons de référence sont nécessaires : OL, OF, OH et A.

Dans la suite du texte, en ce qui concerne la succession des horizons, la parenthèse indique le caractère discontinu, voire sporadique d'un horizon ; le signe / indique un passage brutal d'un horizon à l'autre.

## Formes et types fonctionnels d'humus aérés

Épisolums humifères évoluant tout au long  
de l'année en conditions aérobies

### Mull

#### *Épisolum diagnostic*

- présence d'un horizon A biomacrostructuré ou d'insolubilisation (cf. définitions)
- forte discontinuité entre les horizons O et A

#### *Autres caractères*

L'horizon A peut avoir de quelques centimètres à plus de 10, voire 20 cm d'épaisseur.

Pour la plupart des formes de plaine (mulls à litière peu épaisse), la succession des horizons est du type : (OL)/A ou OL/A ou, dans les types de transition : OL, OF/A.

La succession OL, OF, OH/A caractérise les amphimulls (mulls à litière épaisse).

#### *Fonctionnement biologique*

Seul est bien connu le fonctionnement des mulls à litière peu épaisse : ce sont des formes d'humus à forte activité de vers de terre anéciques assurant une incorporation rapide et profonde de la matière organique aux horizons minéraux et sa complexation avec les argiles. Cette activité masque en outre une diversité faunique importante et une activité fongique intense.

Dans les oligomulls et les dysmulls (cf. ci-dessous), cette activité des vers, plus faible ou presque nulle, est accompagnée d'une forte activité de pourritures blanches entraînant la présence d'horizons OL<sub>v</sub>, voire OF.

Dans les amphimulls, il semble qu'il y ait, pour des raisons pédoclimatiques, une dualité de fonctionnement entre les horizons A à forte activité de vers de terre, et les horizons O à activité mal connue.

#### *Principales références et leurs propriétés*

- **Eumull** (eu- = bien, beau) : mull « typique », à disparition totale et rapide des matières organiques fraîches.

Succession (OL<sub>n</sub>)/A ou OL<sub>n</sub>/A avec présence possible de OL<sub>t</sub> entre OL<sub>n</sub> et A. L'horizon OL est donc limité à OL<sub>n</sub> qui, d'épaisseur variable au cours des saisons, peut être sporadique, ou même quasi-absent en fin de printemps.

L'activité des vers de terre est très forte, l'incorporation de la matière organique importante, les composés d'insolubilisation et les complexes argilo-humiques très bien développés.

Les formes les plus courantes correspondent à des pH et des taux de saturation élevés : pH > 6, S/T > 75 %. Ce sont les « mulls eutrophes » au sens de F. Toutain (*in* Bonneau et Souchier, « Pédologie » T2, 2<sup>e</sup> éd. 1994). **Mais ce caractère n'est pas obligatoire** puisqu'il existe des « eumulls désaturés acides ». Ces derniers sont un bon exemple d'une forme d'humus qui n'était pas qualifiable avec l'ancienne terminologie.

Sauf pour les eumulls carbonatés, le taux de minéralisation de l'azote est élevé (> 3 %) et assure une forte disponibilité en cet élément (chiffres d'après Duchaufour ou Bonneau, mesures par incubation).

*Exemples de types :*

- eumull calcique humique : forme d'humus des forêts jurassiennes sur calcaire filtrant ;

- eumull carbonaté (ancien mull carbonaté) : le caractère humique est fréquent car l'évolution de la matière organique est bloquée par la présence de carbonates en A (héritages dominants et insolubilisation des acides fulviques par le calcium). Le taux de minéralisation de l'azote est faible (0,5 à 2 %), compensé dans certains cas par un fort pourcentage de matière organique en A (souvent > 10 %). Le taux de nitrification atteint 100 %. Le rapport C/N en A est bas (< 15) ;

- eumull désaturé acide : forme d'humus des chênaies acidiphiles du Béarn ;

- eumull subsaturé clair : mull pauvre en matière organique des climats océaniques (« cryptomull » de Bonneau).

• **Mésomull** (més- = moyen) : mull à morphologie et vitesse de disparition des matières organiques fraîches intermédiaires entre eumull et oligomull.

Succession d'horizons : OLn, (OLv)/A

L'horizon OL est toujours présent, en toutes saisons, jamais très épais ; OLn est continu ; OLv est sporadique et peu épais. L'activité des vers de terre anéciques est ralentie dans des conditions de milieu un peu moins favorables. L'horizon A est moins épais (quelques cm) à structuration moins stable que dans les types précédents.

Le pH de l'horizon A est fréquemment compris entre 5 et 6, le rapport S/T entre 30 et 70 % (« mull mésotrophe » au sens de F. Toutain, 1994), **mais ce caractère n'est pas obligatoire**.

• **Oligomull** (oligo = peu) : mull à disparition lente des litières, fonctionnement biologique ralenti.

Succession d'horizons OLn, OLv, (OFr) / A

L'horizon OL est continu ; OLv est très bien développé et présente une activité nette des pourritures blanches (champignons saprophytes). L'horizon A est peu épais et peu humifère, sa structure est faiblement grumeleuse, très finement dans l'oligomull mycogène à horizon A d'insolubilisation (agrégats de 1 à quelques millimètres).

*Exemples de types :*

- oligomull carbonaté : malgré un horizon A carbonaté, la décomposition des litières est ralentie (à cause par exemple de leur rapport C/N élevé) ;
- oligomull mycogène désaturé acide : forme fréquente des hêtraies lorraines : pH < 5, rapport S/T au pH du sol < 30 % (« mull acide » ou « oligotrophe » au sens de F. Toutain, 1994).

- **Dysmull** (dys- = difficulté, mauvais état ; mull à fonctionnement biologique « non typique », très ralenti)

Succession d'horizons OLn, OLv, OF/A

Forme de transition avec les moders (dysmulls généralement très acides, faisant partie des anciens « mull-moder ») ou avec les amphimulls. On y observe un horizon OF qui indique que le fonctionnement biologique des horizons holorganiques est voisin de celui des moders. Mais le fonctionnement biologique de l'horizon A (biomacrostructuré) est encore celui d'un mull.

- **Amphimull** (amphi = en double) : mull à double fonctionnement biologique.

Succession d'horizons OLn, OLv, OF, OH/A

Les horizons holorganiques épais sont en discontinuité brutale avec un horizon A biomacrostructuré.

Ces formes d'humus sont fréquentes en climats montagnards et méditerranéens et comprennent des types appelés autrefois « moder » ou « mor », calciques ou carbonatés.

La caractérisation de ces types fonctionnels d'humus nécessite des études ultérieures (ce sont les « mulls à litière épaisse » de F. Toutain, 1994).

- **Hydromull** : cf. formes d'humus hydromorphes.

**Moder***Épisolum diagnostic*

- Présence d'un horizon A de juxtaposition (cf. définitions)
- Succession des horizons : OL, OF, OH, A ou dans certaines formes : OL, OF, A.
- Passage très progressif entre les horizons O et A.

*Autres caractères*

Sur le terrain, la limite entre OH et A est souvent difficile à situer (horizon OAh de Delecour).

OH peut être sporadique ou avoir plusieurs centimètres d'épaisseur. Il est essentiellement constitué de boulettes fécales.

A est un horizon « coprogène » dû à la juxtaposition de boulettes fécales de la mésofaune (larves de diptères, vers enchytraeides, arthropodes) aux

grains minéraux qui restent nus. Cette matière organique est riche en débris peu évolués, l'insolubilisation des composés organiques est généralement faible et n'est pas favorisée par l'activité biologique.

### **Fonctionnement biologique**

La destruction des litières est due principalement, en l'absence des vers de terre anéciques, à la mésofaune citée plus haut et à la macrofaune de surface : isopodes, diplopodes, lombrics épigés, mollusques. Transformation et incorporation sont donc faibles. L'activité des pourritures blanches peut encore être sensible.

### **Conditions écologiques**

Conditions défavorables à l'activité des vers de terre anéciques :

- pH bas du solum (< 5) associé quelquefois à des textures défavorables (sableuses) ou à des résidus végétaux à fort rapport C/N ;
- températures basses (montagne, zones boréales) ;
- sécheresse,
- asphyxie : voir hydromoder.

La présence d'un moder correspond à une faible insolubilisation des composés organiques solubles : c'est une condition du déclenchement des processus de podzolisation.

### **Principales références**

#### **• Hémimoder**

Succession des horizons OL, OF, A.

Forme de transition à couche OH peu ou pas développée. Morphologiquement, ce n'est pas un mull à cause de la présence d'un horizon A de juxtaposition. Ce n'est pas non plus un moder typique (absence de OH) mais il en a le fonctionnement biologique.

OF est bien développé (horizons OFr et OFm).

#### **• Moder typique ou eumoder**

Succession des horizons OL, OF, OH, A.

L'horizon OH, toujours présent, est mince (moins de 1 cm), parfois discontinu.

#### **• Dysmoder**

L'horizon OH prend une plus grande importance que dans le moder typique ; il fait plus de 1 cm d'épaisseur.

*Remarque* : la limite entre eumoder et dysmoder est une limite morphologique arbitraire, mais les types extrêmes se différencient par leurs populations animales et par leurs propriétés.

- **Hydromoder** : cf. formes d'humus hydromorphes.

**Propriétés**

Sauf conditions pédoclimatiques particulières, le pH est très acide en régions tempérées (< 4,5), les rapports C/N sont élevés (18 à 25 en A, jusqu'à 30 en OH) et le taux de minéralisation de l'azote est assez faible. Les moders correspondent, dans ces conditions, à des niveaux trophiques faibles.

**Mor****Épisolum diagnostic**

Succession des horizons OL/OF/OH/horizon peu humifère ou OL/OF/OH/horizon humifère (noté -h). La transition très rapide entre OH et l'horizon sous-jacent est un caractère diagnostique.

Ces formes d'humus doivent être mieux étudiées afin de bien caractériser leur fonctionnement et leurs limites avec les formes moder, les caractères de la matière organique des horizons humifères. La part des horizons OF et OH « mycogènes » devra être précisée.

**Autres caractères**

En plaine, l'horizon organo-minéral qui succède à OH est un horizon où l'on peut trouver de la matière organique de diffusion. Il est plus ou moins humifère et particulaire. Il peut contenir quelques boulettes fécales correspondant à la consommation de racines par une faune peu active.

L'horizon OH peut au contraire présenter des épaisseurs très importantes, de quelques cm à parfois plus de 50 cm. Des termes tels que leptique ou pachique (ou mince et épais) pourraient être définis et utilisés pour préciser ces épaisseurs.

**Fonctionnement**

Les mors correspondent vraisemblablement à des milieux où l'activité faunique est beaucoup plus faible que dans les moders, les horizons OF et OH étant en conséquence plus pauvres en boulettes fécales et au contraire riches en filaments mycéliens et résidus transformés. Cette activité faunique est en tout cas spécifique, les échanges entre horizons organiques et minéraux étant quasiment nuls. La transformation de la matière organique est très faible et lente en l'absence d'activité animale notable : humine héritée dominante, composés organiques solubles non insolubilisés. L'incorporation de matière organique au sol minéral ne peut se faire que par diffusion de ces composés.

**Conditions écologiques**

Elles correspondent à des conditions très défavorables à toute activité animale :

- très forte acidité du solum associée à la présence de végétaux à résidus difficilement biodégradables ou à sécrétions toxiques (certains résineux, Éricacées) ;



- climat limitant l'activité biologique (froid),
- engorgement prolongé (v. hydromor).

**Principaux types** (à préciser)

Selon l'aspect des horizons O, on trouve dans la littérature les termes de fibrimor, mésimor, humimor dont le fonctionnement biologique et le déterminisme écologique ne sont pas définis.

**Propriétés**

Les mors acides sont des milieux à très faibles niveaux trophiques : pH très bas (inférieur ou très inférieur à 4,5) et taux de minéralisation de l'azote très faible. De plus, ils constituent un obstacle à l'infiltration de l'eau et sont défavorables à la germination : toxicité et sécheresse.

**Formes et types fonctionnels d'humus hydromorphes**

Épisolums humifères soumis au moins temporairement  
à la présence d'une nappe d'eau

**Hydromull**

Forme d'humus présentant une litière peu épaisse (OL) reposant en discontinuité brutale sur un horizon A plus ou moins épais, plus ou moins sombre et présentant des taches d'hydromorphie. Structure grumeleuse due à une forte activité de vers de terre anéciques ; forte macroporosité ; complexes argilo-humiques stables.

Les hydromulls se forment sous l'influence de la frange capillaire d'une nappe ou par suite d'un engorgement fugace.

**Hydromoder**

Forme d'humus à horizons OL + OF + OH épais et montrant un passage progressif entre horizons OH et A ; la base de l'horizon OH prend une consistance grasse et une structure massive sur plusieurs millimètres. L'horizon A peut être parfois épais (> 10 cm), il montre une juxtaposition de matière organique peu évoluée (débris figurés microfragmentés) et de matière minérale. Sa structure est plutôt massive, sa couleur foncée et il présente souvent des marbrures rouille.

On peut distinguer des hydromoders acides où l'engorgement intervient secondairement par rapport à l'acidité du solum, et des hydromoders

eutrophes formés en milieu peu acide ou neutre où l'engorgement devient le facteur déterminant dans le mode de transformation des litières et la morphologie de l'épisolum humifère.

### **Hydromor**

Forme d'humus montrant une succession d'horizons similaire à celle du mor mais se développant dans un milieu temporairement saturé d'eau (nappe fluctuante). Les horizons OL et OF sont de même nature que ceux du mor. L'horizon OH prend un aspect particulier au moins dans sa partie inférieure et au moins sur 1 cm d'épaisseur : couleur foncée proche du noir, consistance grasse, plastique à l'état humide. L'horizon organo-minéral sous-jacent présente souvent des infiltrations profondes de matières organiques dont la teneur décroît avec la profondeur. Sa structure est massive, sa couleur peut être très noire à sa partie supérieure, sa limite inférieure avec un horizon généralement albique est très irrégulière et diffuse. Dès cet horizon, il peut y avoir apparition de taches rouille d'oxydation de fer, en particulier le long des racines. L'horizon OH s'apparente ici à l'horizon saprique des HISTOSOLS (matière organique fortement humifiée). Outre l'épaisseur de cet horizon, la différence essentielle entre l'horizon OH d'un hydromor et de l'horizon Hs de certaines tourbes pourrait correspondre à la durée et au mode d'engorgement : semi- à quasi-permanent et régulier pour les horizons tourbeux, saturation temporaire et fluctuante pour l'hydromor. Mais il n'y a pas de différence nette entre les deux.

### **Anmoor**

Forme d'humus présentant une succession d'horizons (OL)/An ou OL/An.

L'horizon An des anmoors est un horizon noir épais (jusqu'à 30 cm), parfois très riche en carbone organique (> 20 %), à consistance plastique et structure massive en période d'engorgement, biomacrostructuré en période d'abaissement de la nappe. Cet horizon se forme sous l'influence d'un engorgement prolongé par une nappe permanente à faible battement.

L'incorporation de la matière organique est due à une forte activité d'animaux fouisseurs (vers de terre, larves d'insectes) lors des périodes estivales où le niveau de la nappe baisse. Cette activité n'aboutit pas à une structuration durable de l'horizon (déstabilisation par l'engorgement).

L'examen microscopique montre une abondance d'éléments organiques figurés. Les liaisons matières organiques-argiles conduisent à des complexes moins stables et moins condensés que dans les A des mulls. Le rapport C/N est faible (12 à 18).

**Épisolums humifères comportant des horizons H épais (cf. chap. HISTOSOLS).**

**Tableau 1 - Principales références des formes d'humus aérées forestières**

Horizons O		Horizons A et transitions O-A				
		Complexes argilo-humiques abondants		Complexes argilo-humiques rares ou absents		
		discontinuité O//A		O-A passage progressif	discontinuité O/horiz. minéral	
		A biomacrostructuré	A d'insolubilisation	A de juxtaposition	pas de MO ou MO de diffusion	
		MULL		MODER	MOR	
OL ou OL et (OF)	(OL <sub>n</sub> )*	EUMULL				
	OL <sub>n</sub> (OL <sub>v</sub> )*	MÉSOMULL				
	OL <sub>n</sub> OL <sub>v</sub> (OF)	OLIGOMULL	Oligomull mycogène			
OL et OF**		DYSMULL		HÉMIMODER		
OL et OF et OH ou (OH)		AMPHIMULL		EUMODER (OH < 1 cm) DYSMODER (OH ≥ 1 cm)	MOR	

NB : horizons entre parenthèses = horizons discontinus ; MO = matières organiques.

\* Horizons OL<sub>t</sub> facultatif au-dessus de l'horizon A.

\*\* Le terme « mull-moder » est à éviter dans la mesure où il privilégie le mot mull.

hémi : à demi

eu- : bien, bon

méso- : moyen

oligo- : peu

dys- : difficulté,

mauvais état

amphi- : en double

eumull : mull « typique », à disparition rapide des MO fraîches

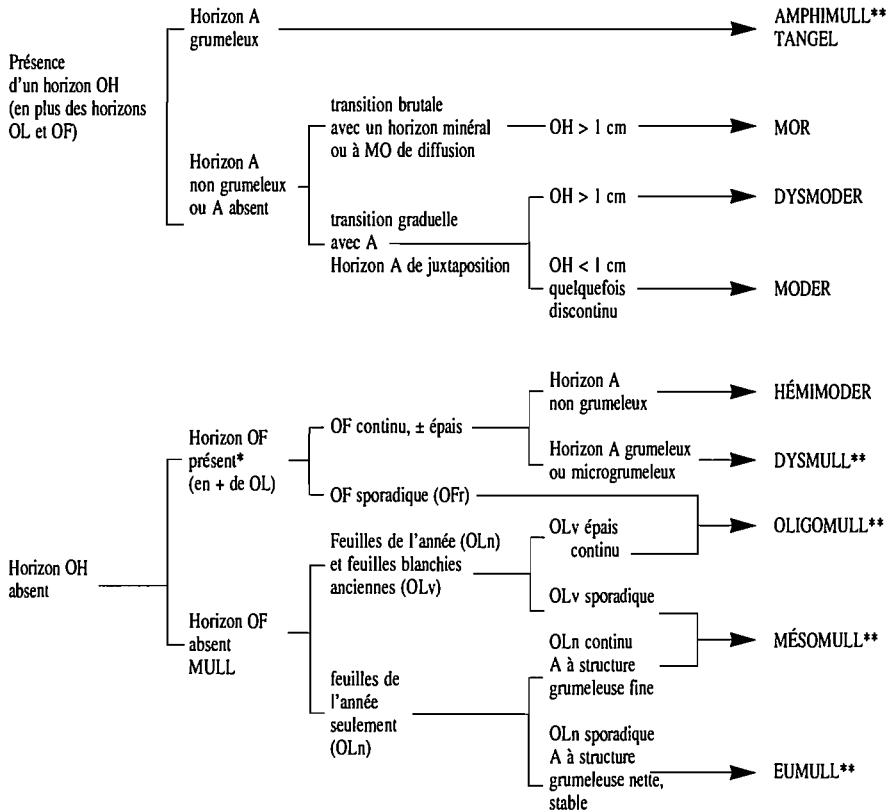
mésomull : mull à morphologie et vitesse de disparition des MO fraîches intermédiaires

oligomull : mull à fonctionnement biologique lent

dysmull : mull à fonctionnement biologique très ralenti

amphimull : mull à double fonctionnement biologique

**Tableau 2 - Clé de détermination des principales formes d'humus**



\* Ne pas confondre quelques débris de feuilles non blanchies de l'année (horizon OLt) avec un véritable horizon OF à débris généralement blanchis et mêlés de quelques grains de matière organique (boulettes fécales).

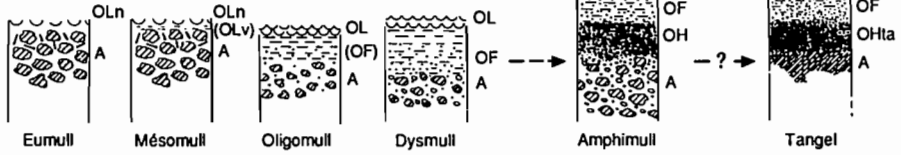
\*\* Si l'horizon A fait effervescence à HCl, ces formes d'humus sont qualifiées de « carbonatées » (ex. eumull carbonaté, mésomull carbonaté, etc.).

# Proposition pour une classification morpho-fonctionnelle des formes d'humus aérés de plaine et montagne

A. Brethes, B. Jabiol, J.J. Brun, J.F. Ponge, F. Toutain - 1992

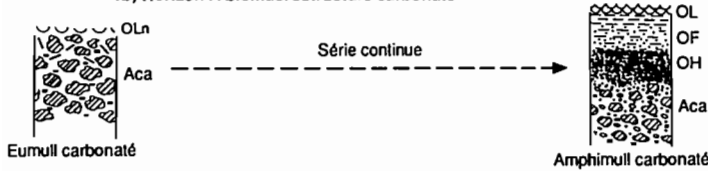
## A) Série des humus à horizon A à complexe argilo-humique

### 1a) Horizon A biomacrostructuré



Diminution de la durée de la période d'activité biologique  
 Diminution du rôle des vers de terre anéciques dans la destruction des litières  
 Maintien de l'activité des vers de terre endogés (rôle dans la structuration de A).

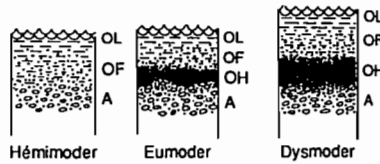
### 1b) Horizon A biomacrostructuré carbonaté



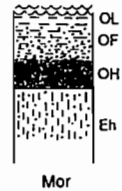
### 2) Horizon A d'insolubilisation



## B) Série des humus à horizon A de juxtaposition



## C) Série des humus à horizon humifère de diffusion



### Les horizons O

- Horizon OLn
- Horizon OLv
- Horizon OF
- Horizon OH

### Les horizons A

- Déjections de vers de terre
- Juxtaposition de déjections de vers de terre et déjections d'Enchytraeides, microarthropodes, etc.
- Microgrumeaux d'insolubilisation
- Juxtaposition de grains minéraux et de déjections d'Enchytraeides, microarthropodes, etc.
- Présence de CaCO3
- Horizon humifère de diffusion

Appauvrissement de la diversité de la faune du sol  
 Disparition de l'activité des vers de terre anéciques et endogés

Diminution de l'activité de la mésotaune  
 Augmentation de la part prise par les champignons dans la transformation de la matière organique fraîche

**Horizons O : correspondances approximatives avec les horizons décrits par d'autres auteurs**

Référentiel Pédologique	CPCS (1967)	Jamagne (1967) Duchaufour (1977)	Delecour (1980)	USDA	Klinka <i>et al.</i> (1981)
OL $\begin{cases} \text{OLn} \\ \text{OLv} \end{cases}$	Aoo	L	O1 $\begin{cases} \text{O11} \\ \text{O12} \end{cases}$	O1 $\begin{cases} \text{Oi} \\ \text{Oe} \end{cases}$	L $\begin{cases} \text{Lo} \\ \text{Lv} \end{cases}$
OF $\begin{cases} \text{OFr} \\ \text{OFm} \end{cases}$	Ao	F $\begin{cases} \text{F1} \\ \text{F2} \end{cases}$	Of $\begin{cases} \text{Of1} \\ \text{Of2} \end{cases}$	O2 $\begin{cases} \text{Oe} \\ \text{Oa} \end{cases}$	F : Fq, Fa
OH $\begin{cases} \text{Ohr} \\ \text{OHf} \end{cases}$		H	Oh $\begin{cases} \text{Oh1} \\ \text{Oh2} \end{cases}$		H $\begin{cases} \text{Hr} \\ \text{Hd} \\ \text{Hda} \end{cases}$



## ANNEXE 2

# ÉLÉMENTS POUR L'ÉTABLISSEMENT D'UN RÉFÉRENTIEL POUR LES SOLUMS HYDROMORPHES

J.F. Vizier

### Généralités sur l'hydromorphie

Les sols hydromorphes présentent des caractères attribuables à un **excès d'eau**. L'excès d'eau dans les sols peut avoir des causes et des origines variées.

L'excès d'eau peut être dû simplement aux précipitations pour des sols à drainages externe et interne limités (zones à relief horizontal ou subhorizontal, sols à texture lourde, à argiles gonflantes, à plancher imperméable, etc.). Mais aux précipitations s'ajoutent parfois des apports d'eau complémentaires, **superficiels** (ruissellement dans des cuvettes, des zones endoréiques, inondation de plaines alluviales, etc.) ou **profonds** (remontée de nappe). L'action de l'homme enfin, par des aplanissements, des mises en terrasses, des endiguements, des tassements superficiels limitant le drainage externe ou par des apports d'eau complémentaires par irrigation, est aussi susceptible de provoquer un excès d'eau dans les sols.

Des sols subissant un excès d'eau peuvent être observés **sous toutes les latitudes** et dans des **positions topographiques variées**, qu'ils soient ou non situés dans des zones aménagées par l'homme.

L'excès d'eau est plus ou moins durable dans l'année. Il peut se traduire par l'occupation de tout l'espace poral accessible par l'eau - ou **saturation** - d'une partie ou de la totalité des horizons du sol.

Sur le plan de la dynamique de l'eau, la saturation présente des formes différentes suivant la géométrie de l'espace poral. La saturation se manifeste le plus souvent par la présence d'une nappe d'**eau libre** dans le sol, mais en l'absence de pores grossiers, on peut n'observer qu'une imbibition capillaire par de l'**eau** plus ou moins fortement **liée** au sol.



La saturation limite les échanges gazeux entre le sol et l'atmosphère. Il peut en résulter **un déficit plus ou moins prolongé en oxygène** qui modifie l'activité biologique du sol. Cette activité biologique particulière et les processus biochimiques, chimiques ou physico-chimiques qui l'accompagnent, ont des conséquences sur l'organisation et la nature des constituants du sol : **ségrégation du fer** liée au développement de processus d'oxydoréduction, composition particulière de la fraction organique due à l'existence de conditions anaérobies.

En l'absence d'oxygène dans le sol, l'activité biologique responsable de l'évolution des différentes fractions organiques (processus de minéralisation, d'humification, de biodégradation, etc.) apparaît ralentie par rapport à celle des sols aérés. Il en résulte une augmentation des teneurs en matière organique et une production de substances propres à ces milieux saturés d'eau. Cette modification de l'activité biologique correspond au développement de micro-organismes anaérobies facultatifs puis stricts qui s'accompagnent de réactions d'oxydoréduction au cours desquelles des constituants minéraux du sol ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Mn}^{4+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_2$ ) jouent le rôle d'accepteur final d'électrons et sont réduits en présence de matière organique décomposable (respiration anaérobie). Ces réactions d'oxydoréduction modifient la mobilité relative des constituants minéraux par rapport à celle qui existe dans les sols aérés et conduisent à des **redistributions particulières** de certains éléments et **notamment du fer**.

Dans des sols présentant des conditions d'anaérobiose très strictes, des composés organiques peuvent aussi jouer le rôle d'accepteur d'électrons dans les processus d'oxydoréduction qui s'y développent (fermentation). Les substances organiques solubles présentes dans le sol sont alors rapidement décomposées par ces fermentations qui libèrent des produits gazeux ( $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ).

La saturation du sol contribue aussi à modifier l'organisation des constituants du sol en accentuant, lorsque les teneurs et la nature des argiles le permettent, les variations de l'espace poral (gonflement ou consolidation, par exemple). Par la perte de cohésion des agrégats aux fortes humidités et leur fragilisation, la saturation peut également modifier les propriétés mécaniques du sol (portance).

Sur le plan agronomique, la saturation du sol par l'eau peut être à l'origine de **contraintes** liées au déficit en oxygène pouvant gêner le développement des plantes cultivées ou liées aux modifications des propriétés mécaniques du sol susceptibles d'affecter le déroulement des façons culturales.

## **Les sols hydromorphes - Choix des caractères retenus pour définir ces sols**

Différents processus peuvent se développer dans les sols sous l'effet d'un excès d'eau. Ils provoquent des transformations de l'organisation et de la nature des constituants du sol, mais seuls sont retenus pour définir les sols

hydromorphes, les caractères qui apparaissent les plus spécifiques de ce mode particulier d'évolution des sols. Il s'agit de caractères dus au **déficit en oxygène** existant dans ces sols du fait de l'excès d'eau et se traduisant :

- par une **ségrégation du fer**, redistribution particulière de cet élément liée au développement de processus d'oxydoréduction ;
- par la présence, non obligatoire, d'épisolums humifères épais et sombres en surface, résultant de l'évolution en anaérobiose plus ou moins prolongée de la fraction organique.

Les sols hydromorphes, dans leur acception la plus étroite, présentent exclusivement des horizons ayant ces caractères. Il s'ensuit que certains sols subissant un excès d'eau ne sont pas considérés comme étant des sols hydromorphes *sensu stricto*, soit parce qu'ils n'ont pas de caractères attribuables aux processus d'oxydoréduction (PÉLOSOLS, VERTISOLS, HISTOSOLS, etc.), soit parce qu'ils ont des caractères dominants relatifs à d'autres pédogenèses (SALISOLS et SODISOLS marqués par la dynamique des sels, SULFATOSOLS et THIOSOLS dominés par la dynamique du soufre, etc.).

## Horizons présentant une ségrégation du fer attribuable à l'existence de processus d'oxydo-réduction

Ce sont des horizons qui présentent des **organisations** correspondant à une **répartition particulière du fer**.

Le **fer** constitue un **bon indicateur de l'hydromorphie**, en raison de son rôle dans le développement des processus d'oxydoréduction dans les sols et de la netteté des manifestations qui accompagnent sa réduction (et sa mobilisation) et son oxydation (et son immobilisation).

Lorsqu'un déficit en oxygène apparaît dans un sol saturé d'eau, les nitrates puis les composés manganiques sont les premiers constituants minéraux à jouer le rôle d'accepteur d'électrons et à être réduits. Mais du fait de leurs teneurs généralement faibles dans les sols, leur rôle est limité dans le temps. Par contre, l'état d'oxydoréduction du sol saturé d'eau paraît plus durablement contrôlé par le système fer ferreux/fer ferrique, les composés ferriques représentant une réserve importante susceptible d'accepter des électrons dans les réactions d'oxydoréduction qui accompagnent le développement de micro-organismes anaérobies facultatifs. Ce n'est que dans des cas d'anaérobiose plus stricte, que les sulfates puis le dioxyde de carbone sont successivement réduits et que se produisent d'éventuelles fermentations.

Le développement des processus d'oxydoréduction se manifeste de façon très visible en ce qui concerne le fer, par des **variations de couleur** - teintes grises de fer réduit, teintes jaune-rouge, brun-rouge du fer oxydé - et une **redistribution particulière** liée à la plus grande mobilité du fer sous forme réduite.

La **ségrégation du fer** observée dans les sols subissant un excès d'eau est liée au développement de **processus d'oxydoréduction**.

La réduction du fer peut en effet conduire à des **migrations séparées de fer et d'argile**, en accroissant la solubilité du fer et ses possibilités de complexation avec les substances organiques présentes dans le sol. La migration du fer peut s'effectuer selon des modalités différentes : en relation avec les mouvements de l'eau libre, ou par diffusion en fonction de gradients chimiques (différences de Eh, de pH, de concentrations en substances réduites) ou hydriques (remontée capillaire sous l'effet d'une forte évaporation) existant dans les sols saturés ou en voie de dessèchement. A l'inverse, l'oxydation due le plus souvent à la pénétration de l'oxygène dans le sol lors de son dessèchement, provoque une immobilisation du fer en des sites qui dépendent de la rapidité de l'oxydation et par conséquent du dessèchement.

Le développement des processus d'oxydoréduction, lié à l'activité de micro-organismes, dépend :

- de la durée du déficit en oxygène dans le sol, donc du **régime hydrique** (durée de saturation, continuité ou discontinuité de la saturation, importance du renouvellement de l'eau saturant la terre) ;
- de la disponibilité de substances organiques décomposables par les micro-organismes (qualité et quantité de la matière organique du sol) ;
- du régime thermique, l'activité biologique étant généralement favorisée par des températures élevées.

Les processus d'oxydo-réduction modifiant la mobilité du fer interviennent sur les possibilités de migration, donc de redistribution de cet élément dans les sols. Mais cette redistribution dépend aussi de processus biochimiques, chimiques, physico-chimiques (complexation, biodégradation des complexes organo-ferreux, précipitation, dissolution, adsorption, désorption, etc.), dont l'importance est fonction d'autres paramètres se rapportant :

- à la nature et aux teneurs de certains constituants du sol (teneurs et formes de fer, d'argile, abondance de certains cations ou anions,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ), au pH ;
- à l'organisation des constituants du sol (macroporosité permettant des mouvements d'eau libre, hétérogénéité de la répartition des constituants génératrice de gradients).

Deux types d'horizons peuvent être distingués en fonction de leur **couleur** et de la **répartition du fer** qu'ils présentent <sup>1</sup>. Cette répartition est **homogène ou hétérogène** et se manifeste, dans ce dernier cas, par une ségrégation du fer correspondant à des immobilisations ou accumulations différentes par leur caractère fugace ou permanent et leur localisation.

L'**horizon réductique** (symbolisé par la lettre G) est caractérisé par une couleur dominante grise (gris bleuâtre, gris verdâtre) et une répartition du fer plutôt homogène. On peut distinguer deux variantes suivant la continuité ou la discontinuité de la saturation :

---

1. Ces deux types d'horizons peuvent être rapprochés des horizons à gley et à pseudogley, termes qui n'ont pas été retenus pour ce référentiel en raison des significations très variables qui leur sont souvent attribuées.

- horizon réductique *sensu stricto*, constamment saturé, de couleur grise (noté Gr) ;

- horizon réductique temporairement réoxydé (noté Go), pouvant présenter des périodes de non saturation pendant lesquelles on observe une ségrégation de fer sous forme de taches de réoxydation de couleur rouille au contact des vides : dans des canalicules de racines, sur des parois de pores, des surfaces d'agrégats. Il s'agit d'une redistribution centrifuge de fer migrant lors du dessèchement de l'horizon, de l'intérieur des agrégats vers leurs surfaces, les parois des pores, les canalicules des racines, où il s'y immobilise sous forme de fines pellicules d'hydroxydes. **Cette ségrégation est fugace** ; les immobilisations de fer disparaissant dès que l'horizon, de nouveau saturé, redevient le siège de processus de réduction et de mobilisation du fer qui tendent à en uniformiser la répartition dans l'horizon.

Une ségrégation de fer de type réductique\* est donc à attribuer à la prédominance des processus de réduction et de mobilisation du fer.

Lorsque la conductivité hydraulique de l'horizon saturé d'eau est bonne, les migrations de fer réduites associées aux mouvements de l'eau libre sont importantes. Elles conduisent à une exportation de fer hors de l'horizon et à un appauvrissement qui peut se traduire par un blanchiment, en l'absence d'éléments colorant le sol (matière organique). Inversement, quand la conductivité hydraulique de l'horizon saturé est faible, les migrations de fer réduites s'effectuent surtout par diffusion sur de faibles distances, en fonction des gradients existants ; l'horizon conserve globalement sa teneur en fer.

Une ségrégation de type réductique\* peut se surimposer aux traits pédologiques résultant du développement (actuel ou ancien) d'autres processus de pédogenèse tels que l'humification (AG) ou l'illuviation (BTG).

L'**horizon rédoxique** (symbolisé par la lettre g ou -g), est caractérisé par une juxtaposition de plages, de traînées grises (ou simplement plus claires que le fond de l'horizon) et de taches, de nodules, voire de concrétions de couleur rouille (brun-rouge, jaune-rouge, etc.). La répartition du fer est très hétérogène. La couleur des surfaces des unités structurales, plus claires que celle de leur partie interne, résulte d'une redistribution centripète de fer migrant lors des périodes de saturation vers l'intérieur des agrégats ; il s'y immobilise quand le dessèchement intervient, souvent rapidement, dans ce type d'horizon. **Cette ségrégation est permanente**. En se maintenant lorsque le sol est de nouveau saturé, les immobilisations de fer tendent peu à peu à former des accumulations localisées, donnant des taches de couleur rouille, des nodules, des concrétions.

Une ségrégation du fer de type rédoxique est donc à attribuer au développement successif de processus de réduction et de mobilisation puis d'oxy-

---

\* A plusieurs reprises la formule « **ségrégation de type réductique** » est utilisée dans ce texte. Dans le cas particulier des horizons Gr, elle peut sembler incorrecte puisque la répartition du fer y est plutôt homogène. Dans le contexte général des « solums hydromorphes », le mot « ségrégation du fer » doit être compris dans le sens d'une redistribution particulière du fer, sous l'influence de phases de réduction plus ou moins durables, entraînant une répartition de cet élément soit hétérogène (horizons g -g et Go) soit homogène (horizon Gr).

dation et d'immobilisation du fer, intervenant pendant les périodes de saturation puis de non saturation de l'horizon.

Le fer qui se redistribue dans ce type d'horizon peut provenir, dans des proportions plus ou moins importantes, d'horizons sus-jacents ou voisins, en liaison avec la circulation verticale ou latérale de la solution du sol. Il y a alors enrichissement en fer. Un fort enrichissement et une forte hétérogénéité de la redistribution du fer peuvent conduire à la formation d'un horizon non induré **ferrique** (FE) ou induré **pétoferrique** (FEM).

Une ségrégation de type rédoxique peut se surimposer aux traits pédologiques résultant du développement (actuel ou ancien) d'autres processus de pédogenèse tels que l'éluviation (Eg), l'illuviation (BTg) ou d'altération tels qu'une décarbonatation, processus auxquels peuvent s'ajouter des redistributions d'éléments autres que le fer, comme le carbonate de calcium par exemple (Scig, Scag, Spg).

### **Horizons présentant une composition de la fraction organique attribuable à l'existence de conditions anaérobies**

Ce sont des horizons qui présentent de plus ou moins fortes teneurs en matière organique et des substances dont la nature est propre aux milieux saturés d'eau.

Lorsque la saturation par l'eau atteint la partie superficielle du sol, l'**anaérobiose** qui s'y développe ralentit la décomposition, la minéralisation de la matière organique fraîche. Elle favorise la production de composés solubles et leur maintien dans le sol en limitant leur biodégradation. L'insolubilisation de ces composés organiques solubles, pour laquelle des constituants minéraux du sol jouent un rôle important, aboutit à la formation d'acides fulviques et humiques.

L'évolution, la composition de la fraction organique du sol, dépendent du développement de processus biologiques et par conséquent :

- de la persistance de conditions anaérobies, donc du régime hydrique, de la durée de la saturation du sol par l'eau, mais aussi du caractère continu ou discontinu de cette saturation ;
- du régime thermique, les températures élevées favorisant l'activité biologique du sol.

Des alternances de saturation et de dessèchement du sol favorisent l'oxydation des matières organiques. Ces alternances tendent à déterminer une évolution et, par conséquent, une composition de la fraction organique proches de celles des milieux bien aérés. L'effet favorable de la température sur l'activité biologique, accroît en régions chaudes, l'importance du caractère continu ou discontinu de la saturation. Dans ces régions en effet, l'évolution rapide constatée en période de non saturation, atténuée fortement les caractères particuliers acquis par la fraction organique lors des périodes de saturation.

La nature des substances organiques du sol et leur stabilité résultent aussi de transformations biochimiques, physico-chimiques ou chimiques (processus

de condensation, de polymérisation, etc.), qui dépendent de la végétation (à l'origine de l'apport de matière organique fraîche au sol) et du milieu minéral dans lequel évolue cette fraction organique (taux de saturation, pH, fer lié aux argiles, carbonate de calcium, etc.).

Deux types d'horizons peuvent être distingués en fonction de leur couleur, de leur organisation (structure, mélange plus ou moins intime des fractions organiques et minérales), de leur teneur en carbone organique et parfois des formes que présente leur fraction humifiée.

Ces différences résultent globalement de la **diminution de l'activité biologique du sol** liée à l'existence de conditions anaérobies (donc de la durée et de la continuité de la saturation du sol par l'eau), qu'il s'agisse de l'activité des micro-organismes intervenant dans la décomposition de la matière organique ou de celle de la microfaune, de la mésofaune, etc., qui assure la fragmentation des substances organiques et leur mélange plus ou moins intime à la fraction minérale du sol.

Horizon de surface **temporairement** saturé d'eau (type hydromull, hydromoder, hydromor) :

- couleur dominante gris foncé à gris noir, avec fréquente ségrégation de fer, parfois de type rédoxique (taches de réoxydation dans les agrégats, souvent assez pâles), mais le plus souvent de type réductique (taches dans les canalicules des racines, sur les parois des pores) ;

- structure fine devenant massive à débit polyédrique ou grossière cubique ou prismatique, quand la durée de saturation croît ; matière organique plus ou moins mélangée à la fraction minérale suivant l'activité de la faune du sol ; horizon parfois surmonté d'une litière ;

- taux de carbone organique en général inférieur à 8 % ;

- fraction humifiée avec une prédominance d'acides fulviques et d'acides humiques bruns peu polymérisés d'autant plus nette que la période de saturation est plus longue et la dessiccation du sol qui lui succède moins intense.

Horizon de surface **longuement** saturé d'eau (type anmor - An) :

- couleur gris-noir,

- structure massive, toucher onctueux lorsque l'horizon est saturé d'eau ; matière organique assez bien mélangée à la fraction minérale du fait de l'activité de la mésofaune lors des périodes de non saturation ;

- teneur en carbone organique supérieure à 8 %.

Un troisième ensemble d'horizons, observés dans des sols constamment saturés d'eau, présentent à la fois une accumulation plus forte et une évolution plus faible de la matière organique. Il s'agit des **horizons histiques** qui caractérisent les HISTOSOLS.

## Autres caractères complétant la définition des sols hydromorphes

La ségrégation du fer, la composition particulière de la fraction organique ont été reliées aux processus d'oxydoréduction, à ceux qui interviennent dans l'évolution de la matière organique en conditions anaérobies et, plus généra-

lement, à la saturation du sol par l'eau. Les horizons présentant ces caractères sont des **horizons de référence** pour les solums hydromorphes *sensu stricto*.

En ce qui concerne le **fonctionnement** des sols, les possibilités d'interprétation que suggère la présence de ces horizons de référence, appellent quelques remarques.

Il convient tout d'abord de rappeler que les caractères relatifs à la fraction organique ne sont pas obligatoirement présents dans les sols hydromorphes, la saturation par l'eau pouvant ne pas atteindre les horizons de surface. Par ailleurs, l'accumulation et la faible évolution de la fraction organique ne sont pas spécifiques de l'anaérobiose et de la saturation du sol par l'eau, mais beaucoup plus d'une limitation de l'activité biologique pouvant s'observer dans d'autres conditions de pédogenèse (pédoclimat froid, par exemple).

Les caractères observés ne sont pas toujours indicateurs d'une évolution actuelle des sols sous l'effet d'un excès d'eau.

Cette remarque concerne peu les caractères relatifs à la fraction organique, en raison de la rapidité de son évolution et de sa transformation quand les conditions hydriques sont modifiées, mais beaucoup plus les caractères relatifs à la ségrégation du fer. Une ségrégation de type réductique\*, avec répartition homogène du fer, témoigne en général d'une évolution actuelle dominée par les processus de réduction et de mobilisation du fer. Les modes de répartition du fer dans les horizons réductiques et rédoxiques sont très différents, cependant le passage d'un type d'horizon à l'autre peut être observé à la suite d'une modification du régime hydrique. Dans un horizon réductique temporairement réoxydé, par exemple, un dessèchement plus brutal du sol et une rapide réoxydation du fer empêchant la redistribution centrifuge du fer en début de période de non saturation, associés à une diminution de la durée de saturation limitant la réduction, la mobilisation et l'uniformisation de la répartition du fer dans l'horizon pendant les périodes de saturation, peut conduire à une répartition hétérogène de type rédoxique. Dans un horizon rédoxique, l'augmentation de la durée de saturation et du déficit en oxygène dans le sol, responsable d'une plus forte réduction et mobilisation du fer, peut tendre à réuniformiser la répartition hétérogène du fer (lente disparition des taches, des nodules). Notons enfin qu'une ségrégation de type rédoxique, avec répartition hétérogène du fer, peut se conserver au-delà du maintien des conditions hydriques dans lesquelles elle s'est formée ; on est alors en présence de caractères relictuels.

Ces caractères enfin, ne permettent pas toujours d'évaluer l'hydromorphie en terme de durée de saturation du sol par l'eau. Des relations existant entre ces caractères et un certain « degré d'hydromorphie » exprimable en durée de saturation par l'eau, sont établies localement, assez souvent en régions tempérées, plus rarement en régions chaudes.

Les deux types de ségrégation de fer (réductique\* et rédoxique) apparaissent plus directement reliés à la prédominance des processus de réduction, de mobilisation, d'oxydation et d'immobilisation du fer, qu'aux variations d'un

---

\* Cf. note p. 299.

des nombreux paramètres intervenant sur le développement de ces processus et en particulier, la durée de saturation du sol par l'eau. De la même manière, l'intervention de nombreux paramètres sur l'évolution de la matière organique peut se traduire, pour des sols subissant une saturation de même durée, par une composition de la fraction organique très différente suivant le climat (chaud, tempéré ou froid), la végétation qui couvre le sol, le milieu minéral dans lequel évolue cette matière organique (pH, taux de saturation du complexe adsorbant, etc.).

Des remarques précédentes, il ressort que la définition des sols hydromorphes, basée sur la présence d'horizons de référence, doit être précisée par d'autres données relatives au milieu. Ces **qualificatifs complémentaires** (cf. liste p. 73) apportent une information sur :

- les causes, l'origine, la forme de l'excès d'eau, donc sur le caractère actuel ou ancien de l'évolution hydromorphe ;
- les conséquences de l'excès d'eau, autres que les transformations de l'organisation et de la nature des constituants du sol déjà retenues pour définir les horizons de référence.

Parmi les qualificatifs complémentaires se rapportant à l'origine, la cause de l'excès d'eau, on peut noter :

- excès d'eau d'origine pluviale ;
- apport d'eau complémentaire, en surface (par ruissellement, inondation, suivant le modelé, la position du sol dans le paysage), en profondeur (présence d'une nappe) ;
- drainage interne limité (texture lourde), présence d'un plancher imperméable naturel ou anthropique (semelle de labour, horizon compacté) ;
- présence d'un système de drainage (limitant et peut être supprimant l'excès d'eau).

Relativement à la forme sous laquelle se manifeste la saturation par l'eau, on peut distinguer :

- présence d'une submersion (faisant éventuellement suite à des apports d'eau par ruissellement, inondation, etc.) ;
- nappe perchée à pente hydraulique plus ou moins forte (circulante ou stagnante) ;
- saturation par imbibition (eau capillaire).

Parmi les qualificatifs se rapportant aux conséquences de l'excès d'eau, autres que les transformations ayant permis de définir les horizons de référence, on peut signaler :

- redistribution visible d'éléments autres que le fer (carbonate de calcium, manganèse, par exemple) ;
- signes visibles, macroscopiquement ou microscopiquement, de transports de matière attribuables à des processus de dégradation des minéraux argileux, par complexolyse, due à la présence de substances organiques très agressives en milieu acide (pseudopodzolisation), par ferrololyse, due au changement de l'état d'oxydation du fer, etc.



## Conclusions

Les éléments précédents ont permis d'établir un référentiel pour les « solums hydromorphes » au sens large. Ceux-ci pourront être rattachés à une ou des Références ou bien désignés par tel ou tel Qualificatif en fonction de la nature des horizons de référence observés et de la profondeur à laquelle ils débutent.

## Justification de l'adoption d'une nouvelle terminologie pour définir les horizons à ségrégation de fer des sols hydromorphes

Dans ce référentiel, les termes de gley et de pseudogley n'ont pas été retenus pour désigner les horizons à ségrégation de fer des sols hydromorphes. Les quelques remarques suivantes constituent des arguments en faveur de l'abandon de ces termes, d'où la nécessité d'introduire une nouvelle terminologie.

### Origine des termes de gley et de pseudogley (Zaydel'man, 1965)

Le terme de gley a été proposé en 1905 par Vysotskiy, pour désigner un matériau plus ou moins compact gris avec des nuances verdâtres, qui apparaît sous l'effet d'un excès d'eau. Cet auteur note qu'un trait caractéristique du gley est la réduction des composés ferriques en composés ferreux. Cette réduction est influencée par l'activité de micro-organismes anaérobies ; les composés ferreux sont oxydés et précipités dans les « niveaux » aérés du sol, sous forme de taches de couleur ocre. L'aluminium est aussi libéré pendant le processus de gleyification, mais l'importance de sa mobilisation est moindre que celle du fer.

D'autres auteurs observent plus tard (Vogel, Grupe - 1909, 1914), des sols forestiers saturés par des eaux de surface. Ces sols présentant alternativement des périodes d'excès d'eau et de fort dessèchement. L'explication du blanchiment de leurs horizons superficiels par une réduction du fer, par l'eau contenant des substances organiques, permet de les distinguer des sols podzoliques. En 1922, Linstov apporte des précisions complémentaires sur ces sols, en notant que par rapport au matériau originel, ils ne présentent pas de variations de teneur en aluminium, potassium, sodium, mais qu'ils sont appauvris en fer, calcium et magnésium.

En 1939, Krauss établit un groupe de sols à gley, dont la formation est influencée par une nappe souterraine, tandis que des sols formés sous l'effet d'un excès d'eau en surface, sont regroupés en sols « semblables au gley » (gleiartige Böden, *gley-like soils*). Ce n'est qu'en 1953, que Kubiena proposera le terme de pseudogley pour désigner ces derniers sols.

## Utilisation des termes de gley et pseudogley en France

Les termes de gley et de pseudogley ont été largement utilisés en France et à l'étranger, avec des significations assez différentes, comme le montrent les quelques exemples présentés ci-après, exclusivement relevés dans la littérature française.

Le terme de gley par exemple, peut ainsi désigner un horizon, un faciès, un sol, un aspect du sol, un processus ou un phénomène.

Il peut s'agir d'un horizon dont la « formation est liée à la présence d'un niveau d'eau à faible profondeur, déterminant par ses variations saisonnières, une zone alternativement réductrice et oxydante » (Demolon, 1966). Citant Bétrémieux (1951), il est précisé dans ce même ouvrage, que « la migration du fer à l'état de complexes organiques se produit naturellement dans la formation du gley des sols argileux, lorsqu'il existe à faible profondeur, un niveau saturé d'eau dont les fluctuations entraînent temporairement des conditions d'anaérobiose ».

Dans la classification des sols (CPCS, 1967), le gley désigne aussi un horizon, mais l'accent est mis sur la durée de l'engorgement (engorgement prolongé) et la prépondérance de la réduction sur l'oxydation ; ce qui se traduit par des teintes dominantes grises, verdâtres ou bleutées de *chroma* égal ou inférieur à 2, qui caractérisent l'horizon.

Le terme de gley est également utilisé pour désigner tous les éléments du « faciès particulier qu'un profil peut prendre sous l'effet des oscillations d'une nappe et des alternances brutales des conditions du milieu qui en dérivent » (Gaucher, 1968). A ces alternances des conditions du milieu, sont associées des variations de couleurs des « composés du fer qui témoignent de la présence du gley », « les teintes jaune et rouille caractérisant les dépôts formés dans les phases d'oxydation et les colorations grises, bleutées ou noirâtres, ceux résultant des phases de réduction ». Cet auteur insiste sur le fait que les pédologues retiennent surtout le caractère « réduit » (au minimum d'oxydation) mais « que ce n'est qu'un aspect du gley, celui de l'engorgement » et que « l'autre ne peut être éliminé ».

Le terme de gley désigne aussi des sols, se formant par exemple, dans des dépressions ou des plaines alluviales caractérisées par une nappe alimentée souterrainement (Duchaufour, 1977).

Le gley peut enfin permettre de décrire un aspect du sol et un phénomène (Hénin *et al.*, 1969). Il s'agit alors de « zones où la terre prend une couleur bleu-gris » et il est indiqué par ailleurs, que « l'existence de gley dans un sol pendant une durée de l'ordre de 15 jours à un mois au moment de la croissance active » des plantes, « provoque des baisses de rendement... sur le maïs et sur le blé ».

A travers ces quelques exemples, on peut constater qu'un même terme désigne des objets ou des concepts différents. On lui associe surtout des durées de saturation très variables (engorgement temporaire ou prolongé) dont résulte une prédominance des phénomènes de réduction ou une alternance de conditions réductrices et oxydantes. Ces différences se traduisent

aussi sur le plan morphologique, par des teintes grises dominantes ou par des teintes grises et des teintes de couleur rouille, jaune.

L'utilisation du terme de pseudogley est moins fréquente. Dans la classification CPCS (1967), il s'agit d'un horizon à engorgement périodique où se produit une alternance de réduction et d'oxydation avec redistribution du fer. Cet horizon est caractérisé par des taches ou des bandes grisâtres et ocre ou rouille. La définition ainsi donnée dans cette classification est proche de celle adoptée pour le gley par certains auteurs. En outre, comme la morphologie du « pseudogley » varie selon le type d'horizon affecté par les phénomènes d'oxydo-réduction (Ag, Eg, Btg, etc.), certains auteurs (Plaisance, 1958) ont introduit des termes de remplacement pour désigner certains faciès (par exemple : marmorisation).

Le pseudogley désigne aussi très souvent un sol à nappe temporaire perchée d'origine pluviale et, de ce fait, distinct du gley qui est considéré comme étant un sol dont la formation est due à l'action d'une nappe phréatique permanente (Duchaufour, 1977). Cette distinction entre les deux types de sols est proche de celle effectuée par Krauss (1939) et les classifications d'Allemagne et d'Europe centrale ; elle correspond parfois, dans ces régions, à des processus d'oxydoréduction différents par leur intensité, mais elle ne permet pas de décrire toutes les situations rencontrées. Les conditions sont modérément réductrices dans le pseudogley, mais il existe des sols où, par suite d'une saturation par des eaux de surface, ces conditions deviennent très réductrices. L'observation de cette variante importante, dans les sols à hydromorphie de surface, est à l'origine de l'emploi d'un terme nouveau : le stagnogley.

Très souvent l'information fournie par le simple emploi des termes de gley et de pseudogley apparaît insuffisante ; ceci incite de nombreux auteurs à introduire de nouveaux termes formés à partir du mot « gley ». C'est le cas du stagnogley, mais aussi de l'amphigley qui désigne un sol affecté par deux nappes, l'une perchée, l'autre profonde. Indépendamment de la localisation de l'hydromorphie dans le sol (en surface, en profondeur), de son « intensité », la nature des constituants de ces sols, la conservation ou l'élimination des produits formés lors de l'évolution du sol sous l'effet de l'excès d'eau, mises en évidence par des analyses, des mesures réalisées *in situ*, etc., sont aussi parfois précisées par l'introduction d'autres termes formés par l'adjonction de divers préfixes au mot « gley » (néogley, orthogley, paragley, ékligley, etc.).

## Conclusions

Les ambiguïtés créées par les diverses acceptions attribuées au cours du temps aux mots gley et pseudogley, par leur fréquente assimilation à des concepts permettant de désigner aussi bien des horizons que des types de sols, voire des processus et des formes d'excès d'eau, incitent à préconiser leur abandon à l'occasion de l'élaboration du Référentiel Pédologique. Il est proposé de les remplacer par les termes de **réductrique** et de **rédoxique**, déjà utilisés dans la littérature (Blume, 1985).

Ces nouveaux termes sont simplement définis en fonction de ce qui constitue une des caractéristiques principales des sols hydromorphes *sensu stricto*, la ségrégation du fer : homogénéité ou hétérogénéité de la répartition du fer, ségrégation se manifestant par des immobilisations ou des accumulations de fer très différentes par leur caractère permanent ou fugace et leur localisation par rapport à l'organisation générale de la phase solide du sol.

Les informations complémentaires acquises sur le sol, concernant la localisation, l'origine de l'excès d'eau, la présence de certains constituants, sont fournies par des Qualificatifs décrivant clairement les situations observées.

Toutefois, la symbolisation de ces horizons, difficilement modifiable et largement admise sur le plan national ou international, a été conservée : G, et g ou -g.

## Horizons hydromorphes à ségrégation de fer <sup>2</sup>

### Définition pédogénétique et caractéristiques majeures des horizons hydromorphes à ségrégation de fer

Les horizons hydromorphes à ségrégation de fer sont caractérisés par une répartition particulière du fer, liée au développement de processus d'oxydo-réduction, dû à une plus ou moins longue saturation par l'eau.

Ces processus d'oxydo-réduction, modifiant la mobilité relative des constituants du sol par rapport à celle des sols aérés, s'accompagnent de processus de mobilisation du fer qui sont à l'origine de la redistribution particulière de cet élément dans les horizons de sols saturés d'eau.

Suivant la porosité de l'horizon, sa position dans le sol, dans le paysage, cette redistribution peut s'accompagner d'un appauvrissement ou d'un enrichissement de l'horizon en cet élément.

La répartition du fer observée n'est pas toujours actuelle ; la ségrégation peut en effet se conserver au-delà du maintien des conditions hydriques dans lesquelles elle s'est développée ; il s'agit alors de caractères relictuels.

### Principaux caractères

Il s'agit de caractères concernant le fer et sa répartition particulière.

#### Caractères observables à l'œil nu

Ils se rapportent à la couleur et à la présence d'éléments riches en oxyhydroxydes de fer de forme nodulaire, en concrétions ou carapace.

---

2. Hors processus d'éluviation, illuviation, podzolisation, etc.

- Couleur de l'horizon (référence Munsell) :
  - soit relativement uniforme, avec des teintes dominantes grises (N ; 5Y), gris verdâtre (5BG ; 5G ; 5GY) ou gris bleuâtre (5B), mais toujours proches du « neutre » (*chroma* inférieur ou égal à 2) ;
  - soit ségrégation de couleur, sur un fond de teinte variable (en général de 7,5YR à 5Y), juxtaposition de traînées grises de *chroma* inférieur ou égal à 2 et de taches de teinte jaune rouge (2,5YR à 10YR) plus ou moins vives (*chroma* généralement supérieur à 4 souvent égal à 6 ou 8).
- Localisation des taches par rapport à l'organisation générale de l'horizon, la porosité, les agrégats, les canalicules de racines.
- Permanence ou fugacité de cette ségrégation de couleur.
- Présence de nodules, de concrétions formant parfois carapace, de couleur analogue à celle des taches.

### **Caractères observables microscopiquement**

On observe, en particulier, une séparation de l'argile et des oxy-hydroxydes de fer, dans différents types d'assemblage :

- type 1 : horizons superficiels, assemblage de type intertextique, avec plasma organique noyant le squelette, liaison matière organique-fer, sous forme d'accumulations discontinues en bandes plus ou moins horizontales (iwatoka), ou accumulation discontinue de fer dans les canalicules des racines. Les oxy-hydroxydes de fer apparaissent peu biréfringents en lumière polarisée (peu ou mal cristallisés) ;
- type 2 : assemblage intertextique avec vides plus ou moins abondants (horizons plus ou moins poreux), avec juxtaposition de plasma gris-jaune déferrié et de plasma de couleur jaune-rouge fortement enrichi en hydroxydes de fer plus ou moins bien cristallisés (biréfringence en lumière polarisée) ;
- type 3 : assemblage aggloméroplasmique (horizons peu poreux, argileux), à plasma dense, jaune-gris avec des glébules d'hydroxydes brun foncé. Le fer, tout en étant « mélangé » à l'argile, reste « individualisé » sous forme de glébules ;
- type 4 : assemblage de type porphyrosquelique, plasma dense d'hydroxydes de fer, au niveau des nodules et des concrétions.

### **Caractères analytiques et paramètres mesurables in situ**

- **Dosage du fer total**
  - Sur des prélèvements de petits volumes correspondant à des bandes ou traînées grises, des taches de couleur jaune rouge, des nodules, des concrétions, il est possible de mettre en évidence des variations très sensibles de teneurs en fer au sein d'un même horizon ;
  - Globalement, mise en évidence d'un appauvrissement ou d'un enrichissement en fer par rapport aux horizons ou solums voisins.

- **Diffraction aux rayons X** : mise en évidence de composés du fer plus ou moins bien cristallisés.
- **Mesures *in situ*** de Eh, pH et **prélèvements** pour le dosage du fer réduit, mettant en évidence de fortes variations de ces paramètres en fonction de l'état hydrique de l'horizon (non saturé ou saturé, durée de saturation).

### **Principaux types d'horizons hydromorphes à ségrégation de fer**

On distingue deux grands types d'horizons, en fonction de l'homogénéité ou de l'hétérogénéité de la répartition du fer. Dans chacun de ces types, on observe plusieurs sous-types correspondant à différents « degrés » d'homogénéité ou d'hétérogénéité et à un appauvrissement ou un enrichissement en fer de l'horizon.

#### **Horizons à répartition homogène du fer : type réductique**

La répartition homogène du fer est liée à la prédominance des processus de réduction et de mobilisation de cet élément, qui se développent lors des périodes de saturation de l'horizon par l'eau.

- Horizon réductique *sensu stricto* Gr : constamment, ou presque, saturé d'eau cet horizon présente une couleur uniforme de teinte grise de *chroma* inférieur ou égal à 2 ;
- Horizon réductique temporairement réoxydé Go : lors des périodes de non saturation, cet horizon présente une ségrégation de couleur avec des taches de teinte jaune-rouge, au contact des vides : dans les canalicules de racines, sur les surfaces des pores ou de certains agrégats. Ces taches correspondent à des immobilisations de fer (réoxydé), qui disparaissent lors de la période de saturation suivante.

Au microscope, les lames minces réalisées dans les horizons réductiques révèlent des assemblages de types 1 et 3. Bien que réparti de façon assez homogène, le fer est nettement « dissocié » de l'argile. Ces horizons sont parfois appauvris en fer. Les caractères qu'ils présentent, sont presque toujours le témoignage d'une évolution actuelle du sol sous l'effet d'un excès d'eau.

#### **Horizons à répartition hétérogène du fer : type rédoxique**

La répartition hétérogène du fer est liée à l'alternance de processus de réduction et de mobilisation, puis d'oxydation et d'immobilisation du fer, intervenant lors des périodes de saturation puis de non saturation de l'horizon.

- Horizon rédoxique g : la juxtaposition de plages de teintes grises ou plus claires que le fond de l'horizon (appauvries en fer) et de taches de teinte jaune-rouge (enrichies en fer), localisées à l'intérieur des agrégats, met en évidence l'hétérogénéité de la répartition du fer. Cette ségrégation de couleur est permanente, visible quel que soit l'état hydrique de l'horizon (saturé

### Les horizons hydromorphes à ségrégation de fer

	Répartition homogène du fer type réductique		Répartition hétérogène du fer type rédoxique	
Répartition du fer et teneurs par rapport aux horizons voisins	répartition homogène parfois appauvri en fer	hétérogénéité temporaire parfois appauvri en fer	hétérogénéité permanente parfois enrichi en fer	forte hétérogénéité permanente fortement enrichi en fer
Caractères observables à l'œil nu	couleur uniforme teinte grise <i>chroma</i> inférieur ou égal à 2	ségrégation de couleur fugace, immobilisation d'oxy-hydroxydes au contact des vides	ségrégation de couleur permanente, accumulation d'oxy- hydroxydes dans les agrégats parfois nodules	ségrégation de couleur permanente, accumulation d'oxy- hydroxydes, souvent nodules ou concrétions
Caractères observables au microscope	assemblages de types 3 et (1)	assemblages de types 1 et 3	assemblages de types 2 et (4)	assemblages de types 4 et 2
Type d'horizon et symbolisation	horizon réductique <i>sensu stricto</i> Gr	horizon réductique temporairement réoxydé Go	horizon rédoxique -g ou g	horizon non induré ferrique : FE horizon induré pétoferrique : FEm

ou non saturé d'eau). On peut observer des accumulations de fer sous forme de nodules ou de concrétions.

Au microscope, les lames minces réalisées dans les horizons rédoxiques révèlent des assemblages de types 2 et 4.

Ces horizons peuvent être enrichis en fer, par rapport aux horizons voisins. Lorsque cet enrichissement est fort, on observe les variantes suivantes : horizon non induré, ferrique ou horizon induré, pétroferrique. Les horizons rédoxiques (et les variantes ferrique et pétroferrique) peuvent témoigner d'une évolution actuelle sous l'effet des alternances de saturation et de non saturation ; mais ils peuvent aussi présenter une répartition hétérogène du fer, qui s'est conservée au-delà du maintien des conditions hydriques dans lesquelles elle s'est développée. Il s'agit alors de caractères relictuels.





## ANNEXE 3

# MÉTHODES D'ANALYSES PRÉCONISÉES

### Méthodes générales

Sauf exceptions dûment signalées, les résultats sont exprimés en g/100 g de la terre fine (< 2 mm) séchée à l'air.

### Mesure du $\text{pH}_{\text{eau}}$ et du $\text{pH}_{\text{KCl}}$ (normes AFNOR X 31-103 et X 31-104)

- déterminée par mesure électrométrique dans la solution surnageante d'un mélange sol/liquide dans la proportion 1 : 2,5 ;
- le liquide est soit de l'eau (deminéralisée ou distillée), soit une solution de KCl 1 M ;
- attention : pour l'identification d'un horizon sulfaté et pour les horizons saliques, le rapport sol/liquide est dans la proportion 1 : 1.

### Granulométrie (sans destruction des carbonates) (norme AFNOR X 31-107)

Destruction de la MO par l'eau oxygénée à chaud. Dispersion par agitation prolongée avec l'hexamétophosphate de sodium. Séparation des différentes classes de particules par sédimentation par gravité pour les fractions Argile et limons (< 50  $\mu\text{m}$ ), par tamisage pour les fractions sables. Les teneurs en argile, limons fins et limons grossiers sont déterminées par la méthode de la pipette. Les sables sont fractionnés par tamisage à sec.

S'il est fait référence à des classes granulométriques, préciser le diagramme de texture employé (GEPPA, Service de la Carte de l'Aisne, etc.).

### Carbone total

**Méthode Anne** (norme AFNOR X 31-109) : oxydation de la matière organique par une quantité en excès de dichromate de potassium en milieu sulfurique à température contrôlée ou à ébullition. Titration en retour de l'excès de dichromate de potassium ou dosage spectrométrique des ions chromiques  $\text{Cr}^{+++}$  formés.

**Méthode Walkley-Black** : combustion humide de la matière organique par le mélange bichromate de potassium/acide sulfurique et titration de l'excès de bichromate par le sulfate ferreux.

### **Calcaire total** (norme AFNOR X 31-105)

Détermination volumétrique du dioxyde de carbone dégagé sous l'action d'un acide fort à la température ambiante (méthode du calcimètre de Bernard).

### **Calcaire « actif »** (norme AFNOR X 31-106)

Échantillon mis en contact avec un volume connu et en excès d'une solution d'oxalate d'ammonium titrée. Détermination de la quantité d'oxalate d'ammonium n'ayant pas réagi (méthode Drouineau-Galet).

### **Capacité d'échange cationique (CEC ou T)** (norme AFNOR X 31-130)

CEC exprimée en  $\text{mmol}^+/\text{100g}$  ou  $\text{cmol}^+/\text{kg}$ .

### **Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> échangeables - Somme de ces quatre cations (S)** (normes AFNOR X 31-108 et X 31-130)

Exprimés en  $\text{mmol}^+/\text{100g}$  ou  $\text{cmol}^+/\text{kg}$

#### **Méthode à l'acétate d'ammonium**

Échange entre les cations retenus par l'échantillon et les ions ammonium d'une solution aqueuse molaire d'acétate d'ammonium tamponné à pH 7. Extraction des ions ammonium par une solution aqueuse molaire de chlorure de sodium. CEC déterminée par dosage des ions ammonium échangés. Les quatre cations échangeables sont déterminés dans le percolat.

*Remarque* : le calcium et le magnésium ainsi dosés dans un horizon calcaire ou dolomitique et le sodium ainsi dosé dans un horizon salé ne peuvent être considérés comme des cations échangeables (une partie provenant de calcium, magnésium ou sodium solubles dans l'acétate d'ammonium).

#### **Méthode à l'oxalate d'ammonium**

Échange entre les cations retenus par l'échantillon et les ions ammonium d'une solution aqueuse et neutre d'oxalate d'ammonium en présence de carbonate de calcium. Détermination de la CEC par mesure de la concentration dans le filtrat des ions ammonium libres. Cette mesure peut être effectuée par

dosage de l'azote ammoniacal. Sur ce même filtrat peuvent être déterminés  $Mg^{++}$ ,  $K^+$  et  $Na^+$  échangés (mais pas  $Ca^{++}$ ).

### **Autres méthodes pour déterminer la capacité d'échange cationique**

- La CEC et les cations échangeables  $Al^{+++}$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $K^+$  et  $Na^+$  peuvent être déterminés ensemble par la méthode au chlorure de cobaltihexammine (norme AFNOR  $\times$  31-130). Échange entre les cations retenus par l'échantillon de sol et les ions cobaltihexammine d'une solution aqueuse, puis détermination de la CEC par mesure de la concentration dans le filtrat des ions cobaltihexammine libres (dosage du cobalt ou de l'azote ammoniacal).

- CEC déterminée par percolation au chlorure de calcium 0,1 M tamponné à pH 7 (méthode utilisable pour des horizons très humifères).

- Pour les sols acides ou très acides, il peut être intéressant de déterminer la CEC « **au pH du sol** ». Percolation par KCl N (mais dans ce cas, il n'est pas possible de déterminer  $K^+$  dans le percolat) ou par  $NH_4Cl$  0,5 N (méthode employée au Centre de Pédologie Biologique de Nancy qui permet en même temps la détermination de S,  $H^+$  et d'autres éléments échangeables tels que Fe, Al, Mn).

### **Taux de saturation : rapport S/T**

Exprimé sous la forme  $S \times 100/T$

### **$Al^{+++}$ échangeable**

(Méthode de Jackson)  $Al^{+++}$  échangeable par KCl 1 mole/litre.

Exprimé en  $mmol^+/100g$  ou  $cmol^+/kg$

### **Acidité d'échange ( $H^+ + Al^{+++}$ )**

L'échantillon est percolé par une solution de KCl 1 M. L'acidité est mesurée par titrage du percolat. L'aluminium échangeable est déterminé séparément dans le percolat.

### **Fer total - Aluminium total**

Extraction par l'acide fluorhydrique HF ou le réactif triacide.

**Détermination des éléments grossiers**

(= refus > 2 mm) (norme AFNOR X 31-101)

Terre brute totale séchée à l'air, passée sur passoire ou tôle perforée à trous ronds de  $\varnothing$  2 mm. Les éléments grossiers correspondent au « refus ». Expression en g/100 g de la terre brute séchée à l'air.

Dans certains cas (PEYROSOLS), les graviers ( $\varnothing$  de 2 à 20 mm), les cailloux ( $\varnothing$  de 20 à 75 mm), les pierres (plus grande dimension de 7,5 à 20 cm) et les blocs (plus grande dimension > 20 cm) doivent être déterminés, en poids, à l'aide de passoires adéquates.

**Fer, aluminium et silice extractibles****Extraction au Dithionite (oxydes cristallisés)**

**Méthode Mehra et Jackson** : l'échantillon est chauffé dans un tampon complexant de citrate de sodium/bicarbonate de sodium auquel on ajoute du dithionite de sodium en cristaux comme agent réducteur. Fe, Al et Si sont dosés dans l'extrait.

**Méthode Holmgren** : l'échantillon est secoué dans un tampon complexant et réducteur de citrate de sodium et dithionite de sodium. Fe et Al sont dosés dans l'extrait.

**Méthode Deb** : tartrate de sodium + dithionite de sodium à 40 °C et pH 7.

**Extraction à l'oxalate acide**

L'échantillon est secoué dans une solution d'oxalate d'ammonium à pH3 à l'obscurité (méthode Blakemore). Fe, Al et Si sont dosés dans l'extrait.

**Extraction au pyrophosphate**

L'échantillon est secoué dans une solution de pyrophosphate de sodium. Fe et Al sont dosés dans l'extrait.

**Analyses spéciales pour les horizons histiques**

En raison de la constitution holorganique des horizons histiques, des méthodes analytiques particulières doivent être employées et d'autres, courantes en pédologie, doivent être adaptées (cf. notamment Levesque *et al.*, 1981).

- Le **pH** est mesuré après agitation dans l'eau d'un échantillon ressuyé mais non séché.

- La **densité apparente** est déterminée par la méthode des cylindres enfoncés horizontalement, le poids étant déterminé après séchage à 105 °C.

- La **capacité d'échange cationique** des horizons H est déterminée sur un échantillon frais par la méthode de Thorpe (1973) : double extraction à l'acide chlorhydrique et à l'acétate de baryum ; titration par NaOH.

- L'**indice pyrophosphate** (Kaïla, 1956) sert à mesurer le degré de décomposition chimique du matériel végétal. On commence par extraire les composants organiques solubles dans le pyrophosphate de sodium, puis la solution est caractérisée par une mesure d'absorbance au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 550 nanomètres. L'absorbance ainsi mesurée multipliée par 100 constitue l'indice pyrophosphate.

- Le **taux de cendres** par calcination pendant 2 heures d'un échantillon sec (séché à 105 °C) à 600 °C (après deux paliers successifs d'une heure à 350 et 450 °C) permet une bonne estimation des teneurs réelles en matières organiques. En présence de carbonates, la « **perte au feu** » ainsi obtenue doit subir une correction de 44 % du CaCO<sub>3</sub> présent.

- Le **taux de fibres frottées** (Levesque et Diné, 1977) est obtenu par pesée du refus sur tamis de 200 µm après tamisage à l'eau et agitation rotative préalable pendant 16 h. Il est exprimé sous la forme d'une proportion pondérale sur échantillon séché à 105 °C. Il permet de classer les horizons H en sapriques, mésiques et fibriques. Cette méthode des fibres frottées est différente de celle de Stanek et Silc (1977), dite de la seringue (ou des fibres non frottées).

- Le **carbone organique total** peut être dosé par pyrolyse oxydante et analyse élémentaire du carbone par titration conductimétrique.

*Remarque* : contrairement aux horizons minéraux, les analyses chimiques totales (Ca, Mg, K, Na, P, N, Al, Fe, etc. ) donnent des résultats directement interprétables en termes de caractérisation et de fonctionnement biochimique.

## Analyse spéciale pour les dolomitosols

### Carbonates totaux (CaCO<sub>3</sub> et MgCO<sub>3</sub>)

**Méthode de Dupuis** (1969) : attaque à 60 °C par un excès d'acide chlorhydrique puis titrage en retour de l'acide restant par une solution basique (ce qui permet de doser les « carbonates totaux ») et, sur le même extrait, dosage de Ca<sup>++</sup> et Mg<sup>++</sup> par complexométrie (ce qui permet de déterminer CaCO<sub>3</sub> et MgCO<sub>3</sub>).



## ANNEXE 4

# CORRÉSPONDANCES DES HORIZONS

dans les systèmes CPCS et Référentiel Pédologique  
(horizons de transition non traités)

CPCS (1967)	Référentiel Pédologique (1995)
A <sub>00</sub>	OL
A <sub>0</sub> F	OF ou Hf ou Hm
A <sub>0</sub> H	OH ou OM ou Hs
A <sub>1</sub>	A ou Ah, Aca, Aci, Ach, Ahs, Js, An, Aal, Avi, And, Alu, Ha, Av, Eh
Ap	L ou LA, LH, LO, LE, LS, LBT
A <sub>2</sub>	E ou Ea
A <sub>2</sub> g	Eg ou Ea
ACs	Ys
B	S ou BT, FS, SV, V
BCn	BTfe ou FE
BCs	Yp
* Bs	BP <sub>s</sub>
Bt	BT ou FSt
Btg, Btgx	BTg, BTgx
* Btgd	BTgd
* Bw	S ou Sp, Sca, Sci, Sa, Na, Snd, Slu, Sal, Jp, SV, FS
B <sub>2</sub> fe	BP <sub>s</sub> ou FE
B <sub>2</sub> h	BPh
(B)	S ou Sp, Sca, Sci, Sa, Na, Snd, Slu, Sal, Jp, FS, FSj
* (B)v	V ou Sp, SV
(B)Ca	Sk
C	C
CCa	Ck, K, ou Km
CCs	Yp
R	M ou R ou D
G	Go ou Gr
-g	-g ou g

---

\* non prévu par la CPCS mais utilisé depuis lors.



**Les horizons de référence du Référentiel Pédologique  
et leur correspondance selon l'ancien système CPCS (1967)**

(horizons de transition non traités)

RP (1995)	CPCS (1967)	RP (1995)	CPCS (1967)
A	A ou A <sub>1</sub>	Js	A <sub>1</sub> ou (A)
And, Alu	A <sub>1</sub>	Jp	B ou C
Aal	A <sub>1</sub>	K, Kc, Km	ACa ou (B)Ca ou BCa ou CCa
Aca Ado	A <sub>1</sub>	L	Ap
Aci Amg	A <sub>1</sub>	LA, LE	Ap
Ach	A <sub>1</sub>	LBT, LS	Ap
Ahs	A <sub>1</sub>	LH, LO	Ap
An	A <sub>1</sub>		
Av	A <sub>1</sub>		
Avi	A <sub>1</sub>		
BT	Bt	M	R
BTd	Btd		
BTg	Btg	Na	?
BTβ	néant	OF	A <sub>0</sub> F
BPh	Bh	OH ou OHta	A <sub>0</sub> H
BPs	Bfe ou Bs	OL	A <sub>00</sub>
C	C	R	R
Cg	Cg	S, Sal	(B)
D	R	Snd, Slu	(B)
E, Ea	A <sub>2</sub>	Sca, Sci	(B)
Eg	A <sub>2</sub> g	Sp	(B)
FE	Bfe	Sa	néant
FEm	Bfem	Si, Sim	néant
FS, FSj	B ou Bt	Sk	(B)Ca
FSt	Bt	SV	(B) ou (B)v
Go ou Gr	G	V	(B) ou (B)v
g	-g	Ym	?
Hf, Hm	A <sub>0</sub> F	Yp	BCs ou CCs
Hs	A <sub>0</sub> H	Ys	ACs
Ha	A <sub>1</sub> ou A <sub>0</sub> H		

## ANNEXE 5

# PRINCIPAUX SYSTÈMES DE CLASSIFICATION ET OUVRAGES CONSULTÉS

- 1967 - Classification des sols. - Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols (CPCS). Multicopie. 96 p.
- 1972 - Classification Canadienne des sols. - Commission Canadienne de Pédologie. Minist. Agric. du Canada. Ottawa. 270 p.
- 1975 - Soil Taxonomy. - Soil Conservation Service. U.S. Depart. Agriculture. Agriculture Handbook n° 436. 754 p.
- 1979 - Sistemul Român de clasificare a solurilor - A. Conea, coord. I.C.P.A. Bucuresti. 179 p.
- 1980 - Soil Classification for England and Wales (Higher categories). - B.W. Avery. Soil Survey. Technical Monograph n°14. Harpenden. 67 p.
- 1985 - La classification des sols de la République Fédérale d'Allemagne (version française abrégée). Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, n° 44. 109 p.
- 1986 - Album gleb polski. Warszawa, 165 p.
- 1989 - Carte mondiale des sols. Légende révisée. FAO Unesco Rome, 125 p.
- 1991 - Morfogenetický Klasifikačný System Pôd CSFR. Bratislava, 106 p.
- 1991 - Soil Classification. A taxonomic system for South Africa. Mem. Agric. Natur. Resources of South Africa, n° 15. Pretoria. 257 p.
- 1994 - World Reference Base for Soil Resources. Draft. - O.C. Spaargaren editor. Wageningen/Rome. 161 p.
- 1994 - Keys to Soil Taxonomy. Sixth edition. - Soil Conservation Service. U.S. Depart. Agriculture. 306 p.

## Ouvrages

- FITZPATRICK E.A., 1971 - Pedology. A systematic approach to Soil Science. Oliver & Boyd. Edinburgh, 306 p.
- MOINEREAU J., 1979 - Propositions pour une nouvelle classification française des sols. Multicopie. ENSA, Montpellier. 24 p.
- BOULAIN J., 1980 - *Pédologie appliquée*. Masson, Paris. 220 p.
- BOULAIN J., 1981 - Cours de Typologie Pédologique - INA Grignon. Multicopie. 4 volumes, 275 p.
- FITZPATRICK E.A., 1983 - *Soils. Their formation, classification and distribution*. Longman, London, 353 p.

- GIRARD M.C., 1983. - *Recherche d'une modélisation en vue d'une représentation spatiale de la couverture pédologique*. Thèse, Paris VII, 430 p.
- BLUME H.P. AND SCHLICHTING E., 1985 - Morphology of wetland soils. In St. Banta (ed.) : *Wetland soils : characterization, classification and utilization*. Proc. Workshop 26.3 - 5.4.1984 - Intern. Rice Res. Inst. Manila. 161-176.
- GLAZOVSKAYA M.A., 1985 - *Soils of the World*. Vol. 1 : *soil families and soil types*. A.A. Balkema, Rotterdam. 214 p.
- BRIDGES E.M., 1989 - Soil Horizon designation. ISRIC, Technical paper n° 19. 133 p.
- LOZET J. ET MATHIEU C., 1990 - *Dictionnaire de Science du Sol*. 2<sup>e</sup> édition. Lavoisier Tec. & Doc. Paris. 384 p.
- DRIESSEN P.M. & DUDAL R., 1991 - *The major soils of the world*. Agric. University Wageningen & Katholieke Universiteit Leuven. 310 p.
- DUCHAUFOUR Ph. 1991 - *Pédologie. Sol, végétation, environnement*. 3<sup>e</sup> édition. Collection abrégés. Masson. Paris, 289 p.

## Pour en savoir plus

### *En français*

- JABIOL B. et BAIZE D., 1993 - Un nouveau langage en pédologie : le Référentiel Pédologique. *Rev. For. Fr.*, XLV, 2, 141-152.
- JABIOL B., BRETHERS A., BRUN J.J., PONGE J.F. et TOUTAIN F., 1994 - Une classification morphologique et fonctionnelle des formes d'humus. Propositions du Référentiel Pédologique 1992. *Rev. For. Fr.*, XLVI, 2, 152-166.
- BAIZE D. et JABIOL B. 1995 - *Guide pour la description des sols*. INRA Éditions, Paris. 350 p.

### *En anglais*

- RUPELLAN A., 1990 - New French system of classification. Int. Conf. on Soil Classif. 1988. UNEP/AISS. Alma-Ata, 148-154.
- BAIZE D., 1993 - Place of horizons in the new French « Référentiel Pédologique ». *Catena*, 20, 4, 383-394.
- BAIZE D., GIRARD M.C., RUPELLAN A. et BOULAIN J. 1993 - The new French « Référentiel Pédologique » : a tool for soil designation. Symposium Soil Cover Structure, Moscow, 20-23.

### *En espagnol*

- ROSSIGNOL J.P., BAIZE D., GIRARD M.C., RUPELLAN A. et BOULAIN J., 1993 - El nuevo « Referencial Pedológico » francés : un herramienta para el conocimiento de los suelos. XII<sup>e</sup> Congrès Latino-Américain de la Science du Sol. Salamanca. 8 p.

### *Autres langues*

- AFES, 1990 - Présentation du Référentiel Pédologique au congrès international de Science du Sol (Kyoto). D. Baize, ed. Introduction traduite en anglais, allemand, arabe, espagnol, italien, néerlandais, portugais. 204 p.

ANNEXE 6

**LISTE DES 102 RÉFÉRENCES**

présentées dans cet ouvrage

(par chapitre)

ALOCRISOLS TYPIQUES ..... p. 81	CRYOSOLS HISTIQUES ..... p. 131
ALOCRISOLS HUMIQUES	CRYOSOLS MINÉRAUX
<i>Andosols et Vitrosols</i> ..... p. 85	FERSIALSOLS CARBONATÉS .. p. 143
SILANDOSOLS PERHYDRIQUES	FERSIALSOLS CALCIQUES
SILANDOSOLS HUMIQUES	FERSIALSOLS INSATURÉS
SILANDOSOLS EUTRIQUES	FERSIALSOLS ÉLUVIQUES
SILANDOSOLS DYSTRIQUES	FLUVIOSOLS BRUTS ..... p. 149
ALUANDOSOLS PERHYDRIQUES	FLUVIOSOLS TYPIQUES
ALUANDOSOLS HUMIQUES	FLUVIOSOLS BRUNIFIÉS
ALUANDOSOLS HAPLIQUES	THALASSOSOLS
VITROSOLS	GRISOLS ÉLUVIQUES ..... p. 157
ANTHROPOSOLS TRANSFORMÉS p. 95	GRISOLS DÉGRADÉS
ANTHROPOSOLS ARTIFICIELS	GRISOLS HAPLIQUES
ANTHROPOSOLS RECONSTITUÉS	GYPSOSOLS HAPLIQUES ..... p. 161
ARÉNOSOLS ..... p. 99	GYPSOSOLS PÉTROGYPSIQUES
BRUNISOLS SATURÉS ..... p. 103	HISTOSOLS LEPTIQUES ..... p. 167
BRUNISOLS MÉSOSATURÉS	HISTOSOLS FIBRIQUES
BRUNISOLS OLIGO-SATURÉS	HISTOSOLS MÉSIQUES
BRUNISOLS RESATURÉS	HISTOSOLS SAPRIQUES
<i>Solums carbonatés et saturés</i>	HISTOSOLS COMPOSITES
RENDOSOLS ..... p. 109	HISTOSOLS RECOUVERTS
RENDISOLS	HISTOSOLS FLOTTANTS
CALCOSOLS	RÉDUCTISOLS TYPIQUES ..... p. 186
DOLOMITOSOLS	RÉDUCTISOLS STAGNIQUES
CALCISOLS	RÉDUCTISOLS DUPLIQUES
MAGNÉSISOLS	RÉDOXISOLS
CALCARISOLS	LEPTISMECTISOLS ..... p. 191
CHERNOSOLS HAPLIQUES .... p. 121	LITHOSOLS ..... p. 193
CHERNOSOLS TYPIQUES	<i>Luvisols</i>
CHERNOSOLS MÉLANOLUVIQUES	NÉOLUVISOLS ..... p. 195
COLLUVIOSOLS ..... p. 127	LUVISOLS TYPIQUES

LUVISOLS DÉGRADÉS	
LUVISOLS DERNIQUES	
LUVISOLS TRONQUÉS	
QUASI-LUVISOLS	
PSEUDO-LUVISOLS	
ORGANOSOLS CALCAIRES . . . . .	p. 205
ORGANOSOLS CALCIQUES	
ORGANOSOLS INSATURÉS	
ORGANOSOLS TANGELIQUES	
PÉLOSOLS TYPIQUES . . . . .	p. 209
PÉLOSOLS BRUNIFIÉS	
PÉLOSOLS DIFFÉRENCIÉS	
PEYROSOLS PIERRIQUES . . . . .	p. 215
PEYROSOLS CAILLOUTIQUES	
PHAEOSOLS HAPLIQUES . . . . .	p. 219
PHAEOSOLS MÉLANOLUVIQUES	
PLANOSOLS TYPIQUES . . . . .	p. 223
PLANOSOLS DISTAUX	
PLANOSOLS STRUCTURAUX	
PODZOSOLS DURIQUES . . . . .	p. 229
PODZOSOLS HUMO-DURIQUES	
PODZOSOLS MEUBLES	
PODZOSOLS PLACIQUES	
PODZOSOLS OCRIQUES	
PODZOSOLS HUMIQUES	
POST-PODZOSOLS	
PODZOSOLS ÉLUVIQUES	
RANKOSOLS . . . . .	p. 237
RÉGOSOLS . . . . .	p. 239
<i>Solums salsodiques</i>	
SALISOLS CHLORURO-SULFATÉS	p. 241
SALISOLS CARBONATÉS	
SODISOLS INDIFFÉRENCIÉS	
SODISOLS SOLONETZIQUES	
SODISOLS SOLODISÉS	
SODISALISOLS	
SALISODISOLS	
<i>Thiosols et Sulfatosols</i>	
THIOSOLS . . . . .	p. 251
SULFATOSOLS	
VERACRISOLS . . . . .	p. 257
<i>Vertisols</i>	
LITHOVERTISOLS . . . . .	p. 263
TOPOVERTISOLS	
PARAVERTISOLS HAPLIQUES	
PARAVERTISOLS PLANOSOLIQUES	

# LISTE DES 102 RÉFÉRENCES

présentées dans cet ouvrage

(ordre alphabétique)

ALOCRIOLS HUMIQUES . . . . .	82	HISTOSOLS FLOTTANTS . . . . .	175
ALOCRIOLS TYPIQUES . . . . .	82	HISTOSOLS LEPTIQUES . . . . .	174
ALUANDOSOLS HAPLIQUES . . .	90	HISTOSOLS MESIQUES . . . . .	174
ALUANDOSOLS HUMIQUES . . .	90	HISTOSOLS RECOUVERTS . . . . .	175
ALUANDOSOLS PERHYDRIQUES	90	HISTOSOLS SAPRIQUES . . . . .	175
ANTHROPOSOLS ARTIFICIELS .	96	LEPTISMECTISOLS . . . . .	191
ANTHROPOSOLS RECONSTITUÉS	96	LITHOSOLS . . . . .	193
ANTHROPOSOLS TRANSFORMÉS	96	LITHOVERTISOLS . . . . .	270
ARÉNOSOLS . . . . .	99	LUVISOLS DÉGRADÉS . . . . .	199
BRUNISOLS MÉSOSATURÉS . . .	104	LUVISOLS DERNIQUES . . . . .	200
BRUNISOLS OLIGOSATURÉS . .	104	LUVISOLS TRONQUÉS . . . . .	200
BRUNISOLS RESATURÉS . . . . .	104	LUVISOLS TYPIQUES . . . . .	199
BRUNISOLS SATURÉS . . . . .	104	MAGNÉSISOLS . . . . .	114
CALCARISOLS . . . . .	114	NÉOLUVISOLS . . . . .	199
CALCOSOLS . . . . .	113	ORGANOSOLS CALCAIRES . . . . .	205
CERNOSOLS HAPLIQUES . . . . .	123	ORGANOSOLS CALCIIQUES . . . . .	206
CERNOSOLS MÉLANOLUVIQUES	124	ORGANOSOLS INSATURÉS . . . . .	206
CERNOSOLS TYPIQUES . . . . .	123	ORGANOSOLS TANGELIQUES .	206
COLLUVIOSOLS . . . . .	127	PARAVERTISOLS HAPLIQUES .	271
CRYSOLS HISTIQUES . . . . .	137	PARAVERTISOLS PLANOSOLIQUES	272
CRYSOLS MINÉRAUX . . . . .	138	PÉLOSOLS BRUNIFIÉS . . . . .	211
DOLOMITOSOLS . . . . .	113	PÉLOSOLS DIFFÉRENCIÉS . . . . .	211
FERSIALSOLS CALCIIQUES . . . . .	147	PÉLOSOLS TYPIQUES . . . . .	211
FERSIALSOLS CARBONATÉS . .	147	PEYROSOLS CAILLOUTIQUES .	216
FERSIALSOLS ÉLUVIQUES . . . . .	147	PEYROSOLS PIERRIQUES . . . . .	216
FERSIALSOLS INSATURÉS . . . . .	147	PHAEOSOLS HAPLIQUES . . . . .	221
FLUVIOSOLS BRUNIFIÉS . . . . .	153	PHAEOSOLS MÉLANOLUVIQUES	221
FLUVIOSOLS BRUTS . . . . .	152	PLANOSOLS DISTAUX . . . . .	225
FLUVIOSOLS TYPIQUES . . . . .	152	PLANOSOLS STRUCTURAUX . .	225
GRISOLS DÉGRADÉS . . . . .	159	PLANOSOLS TYPIQUES . . . . .	225
GRISOLS ÉLUVIQUES . . . . .	159	PODZOSOLS DURIQUES . . . . .	231
GRISOLS HAPLIQUES . . . . .	159	PODZOSOLS ÉLUVIQUES . . . . .	232
GYPSOSOLS HAPLIQUES . . . . .	165	PODZOSOLS HUMIQUES . . . . .	231
GYPSOSOLS PÉTROGYPSIQUES	165	PODZOSOLS HUMO-DURIQUES	231
HISTOSOLS COMPOSITES . . . . .	175	PODZOSOLS MEUBLES . . . . .	231
HISTOSOLS FIBRIQUES . . . . .	174	PODZOSOLS OCRIQUES . . . . .	231
		PODZOSOLS PLACIQUES . . . . .	231
		POST-PODZOSOLS . . . . .	232

PSEUDO-LUVISOLS .....	201	SILANDOSOLS DYSTRINIQUES ...	90
QUASI-LUVISOLS .....	200	SILANDOSOLS EUTRIQUES ....	90
RANKOSOLS .....	237	SILANDOSOLS HUMIQUES ....	90
RÉDOXISOLS .....	187	SODISALISOLS .....	245
RÉDUCTISOLS DUPLIQUES ....	187	SODISOLS INDIFFÉRENCIÉS ...	245
RÉDUCTISOLS STAGNIQUES ..	187	SODISOLS SOLODISÉS .....	245
RÉDUCTISOLS TYPIQUES .....	186	SODISOLS SOLONETZIQUES ...	245
RÉGOSOLS .....	239	SULFATOSOLS .....	254
RENDISOLS .....	113	THALASSOSOLS .....	154
RENDOSOLS .....	112	THIOSOLS .....	253
SALISODISOLS .....	245	TOPOVERTISOLS .....	271
SALISOLS CARBONATÉS .....	244	VERACRISOLS .....	257
SALISOLS CHLORURO-SULFATÉS	244	VITROSOLS .....	90

# LEXIQUE

## Termes relatifs à la matière organique

**Humus** c'est la fraction de la matière organique du sol transformée par voie biologique et chimique.

### Épisolum humifère

ensemble des horizons supérieurs du solum contenant de la matière organique et dont l'organisation est sous la dépendance essentielle de l'activité biologique (c'est « l'humus formen » de Muller, 1887, traduit par « formes d'humus » par les pédologues belges et par « types d'humus » par les pédologues canadiens).

### Types fonctionnels d'humus

ensemble des caractères relatifs au fonctionnement biotique et abiotique de l'épisolum humifère.

### Forme d'humus

ensemble des caractères morphologiques macroscopiques de l'épisolum humifère (horizons O et A et leur succession), dépendant de son mode de fonctionnement.

### Humique

sens général : relatif à l'humus. Qualificatif : qualifie un solum dont les horizons supérieurs sont caractérisés par une grande richesse en matières organiques et qui présente donc, sur au moins 20 cm d'épaisseur, une couleur noire.

### Organique

qui provient de tissus vivants ou de transformations subies par les produits extraits d'organismes vivants. Le terme « horizons organiques » sera réservé aux horizons holorganiques O.

### Holorganique

qualifie un horizon entièrement constitué de matières organiques, humifiées ou non, pratiquement sans matière minérale (horizons O et H). Deux seuils analytiques sont proposés : plus de 30 g/100 g de carbone organique en pondéral, par la méthode Anne  
**ou bien** perte au feu à 600 °C > 50 g/100 g.

### Hémi-organique

qualifie un horizon non holorganique comportant plus de 8 g/100 g de carbone organique dosé par la méthode Anne (ou Walkley-Black).



- Organo-minéral** qualifie les horizons constitués d'un mélange de matières organiques et minérales avec des teneurs en carbone organique  $< 8 \text{ g} / 100 \text{ g}$ .
- Humifère** sens général : qui contient de l'humus.  
qualificatif : horizon ou solum qui contient beaucoup plus de carbone organique que la norme. Ce terme qualifie des horizons non holorganiques (notation -h pour un horizon ; par exemple : Ah, Sh, BTh).

## Quelques définitions relatives aux excès d'eau

D'après *Vocabulaire de l'hydraulique du drainage agricole* par P. Kossuth (Etudes du CEMAGREF n° 524 - Juin 1985)

- Nappe libre** nappe à surface libre, comprise dans un aquifère comprenant une zone non saturée surmontant la zone saturée caractérisant la nappe.
- Nappe perchée** nappe libre, permanente ou temporaire, formée au-dessus d'une zone non saturée dans un aquifère perché. On peut trouver plus profondément une nappe libre d'extension plus générale.
- Nappe captive** nappe sans surface libre, donc soumise en tous points à une pression supérieure à la pression atmosphérique et dont la surface piézométrique est supérieure au toit de l'aquifère, qui se trouve alors entièrement en zone saturée. On dit aussi : « nappe en charge ».

### Imbibition capillaire

dans les sols à faible conductivité hydraulique (sols très argileux, à garniture cationique particulière), lorsque l'on creuse un trou dans le milieu saturé, il peut ne pas apparaître d'eau libre témoin de la nappe. En effet, les pores sont très fins, l'eau est retenue par des forces capillaires et n'est mobilisable que très lentement pour remplir le trou creusé. Ce phénomène ne se prêtant pas à l'image traditionnelle d'une nappe, on préfère parler de saturation (au sens strict) du sol par imbibition capillaire.

## Autres termes

- Altérite** couche d'altération d'une roche, ayant conservé l'essentiel de la structuration lithologique, et dont les caractéristiques physiques et chimiques expliquent en grande partie les propriétés des horizons sus-jacents. Noté comme horizon C.

- Indice de différenciation texturale (IDT) :** rapport entre le pourcentage d'argile de l'horizon le plus riche en argile sur celui de l'horizon le plus pauvre en argile d'un même solum. Cet indice sert à quantifier l'ampleur des phénomènes d'illuviation verticale ou d'appauvrissement superficiel. Son utilisation implique de ne pas raisonner sur des horizons calcaires et de considérer des couples d'horizons BT/A, BT/E, BP/E, S/E ou S/A et non pas des couples S/C, BT/C ou BP/C.
- Interdigitations** pénétrations d'un horizon E dans un horizon BT (ou S) sous-jacent le long des faces des unités structurales, essentiellement verticales. Ces pénétrations ne sont pas assez larges pour constituer des langues, mais forment des concentrations relatives continues d'éléments du squelette.
- Langues** pénétrations d'un horizon E dans un horizon BT (ou S) sous-jacent le long des faces des unités structurales, essentiellement verticales. Ces pénétrations sont plus profondes que larges, et ont des dimensions horizontales minimales dépendant de la texture de l'horizon pénétré : de 5 mm dans les matériaux argileux à 15 mm dans les matériaux limoneux à sableux.
- Lézines** (laizines, lézines) fentes et crevasses larges et profondes formées dans des calcaires durs par l'élargissement progressif (dissolution) de diaclases initiales.
- Profil** séquence d'informations concernant un solum, ordonnée de haut en bas. Informations relatives à des caractères visuels (profil structural) ou bien à une seule variable (profil calcaire, profil hydrique, profil granulométrique) ou bien à des considérations plus synthétiques (profil d'altération, profil cultural).
- Roche-mère** roche dure ou meuble, dont dérive un solum, directement ou par l'intermédiaire d'une altérite (emploi des termes syntaxiques « de » ou « issu de »).
- Solum** le solum est la tranche verticale d'une couverture pédologique observable dans une fosse ou une tranchée. On intègre dans le solum une épaisseur suffisante de la roche sous-jacente pour en permettre la caractérisation (cf. Introduction).
- Substrat** roche située sous les horizons pédologiques et pour laquelle aucune relation pédogénétique n'a pu être établie avec eux (emploi du terme syntaxique « sur »).



## INDEX ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES

A (horizons) .....	31	HISTOSOLS .....	167
ALOCRISOLS .....	81	Horizons de référence (Liste des)	25
Analyses (Méthodes préconisées)	313	Horizons de référence (Définitions)	27
Andiques (horizons à propriétés)	54, 89	Horizons A .....	31
ANDOSOLS .....	85	Horizons BP .....	38
ANTHROPOSOLS .....	95	Horizons BT .....	36
ARÉNOSOLS .....	99	Horizons C .....	44
Argilluvial (horizon BT) .....	36, 198	Horizons E .....	35
Atypiques (horizons J) .....	55	Horizons FE .....	43
Auteurs et collaborateurs .....	5	Horizon FS .....	51, 143
BRUNISOLS .....	103	Horizons G .....	42
Cailloutique (horizon Xc) .....	46, 216	Horizons g .....	43
Calcaïques (horizons K et Kc)	44	Horizons H .....	30
CALCARISOLS .....	114	Horizons J .....	55
CALCISOLS .....	114	Horizons K .....	44
CALCOSOLS .....	113	Horizons L .....	46
Chapitres (GER) - Liste et		Horizons O .....	27
pages - Sommaire .....	7	Horizons S .....	39
Chernique (horizon) .....	34, 122	Horizons Si .....	41
CHERNOSOLS .....	121	Horizon SV .....	51
COLLUVIOSOLS .....	127	Horizon U .....	48, 253
Concepts de base (Introduction)	9	Horizons V .....	51
Correspondances entre horizons		Horizons X .....	46, 216
de la Classification CPCs et du		Horizons Y .....	48, 162
Référentiel Pédologique ..	319	Humus (formes d') .....	275
Couches D, M et R (Définitions)	45	Hydromorphes (solums à caractères)	181
CRYOSOLS .....	131	Hydromorphie (Annexe) ....	295
DOLOMITOSOLS .....	113	Introduction : Pourquoi un	
Éluvial (horizon E) .....	35	Référentiel Pédologique ? ..	9
Épaisseurs - Décompte		Jeunes (horizons J) .....	55
et tolérances .....	77	Labourés (horizons L) .....	46
Ferriques (horizons FE) .....	43	LEPTISMECTISOLS .....	191
Fersiallitique (horizon) .....	51, 143	Lexique .....	327
FERSIALSOLS .....	143	Limnique (matériau) .....	174
FLUVIOSOLS .....	149	LITHOSOLS .....	193
Formes d'Humus (Typologie des)	275	LITHOVERTISOLS .....	270
GRISOLS .....	157	LUVISOLS .....	195
Gypsiques (horizons Ys et Yp)	48, 162	MAGNÉSISOLS .....	114
GYPSOSOLS .....	161	NÉOLUVISOLS .....	199
Histiques (horizons H) .....	30		

O (horizons) équivalences avec autres systèmes . . . . .	293	Réductiques (horizons G) . . . .	42, 182
Organiques (horizons O) . . . .	27	RÉDUCTISOLS . . . . .	186
ORGANOSOLS . . . . .	205	Références (Liste des 102 - par ordre alphabétique) . . . . .	325
Ouvrages consultés (principaux)	321	Références (Liste des 102 - par chapitre) . . . . .	323
PARAVERTISOLS . . . . .	271	RÉGOSOLS . . . . .	239
PÉLOSOLS . . . . .	209	RENDISOLS . . . . .	113
Pétrocalcarique (horizon Km)	44	RENDOSOLS . . . . .	112
Pétroferrique (horizon FEm) . .	43	Salique (horizon) . . . . .	47, 242
Pétrogypsiq (horizon Ym) . . .	48, 162	SALISOLS . . . . .	244
Pétrosilicique (horizon Sim) . .	41	Silicique (horizon Si) . . . . .	41
PEYROSOLS . . . . .	215	Sodique (horizon) . . . . .	47, 243
PHAEOSOLS . . . . .	219	Sombrique (horizon) . . . . .	34, 158, 220
Pierrique (horizon Xp) . . . . .	46, 216	SODISOLS . . . . .	245
Placique (horizon FEm) . . . . .	44	Sommaire . . . . .	7
PLANOSOLS . . . . .	223	Structural vertique (horizon SV)	51
Podzolique (horizon BP) . . . . .	38	Structuraux (horizons S) . . . . .	39
PODZOSOLS . . . . .	229	Sulfaté (horizon U) . . . . .	48, 253
POST-PODZOSOLS . . . . .	232	SULFATOSOLS . . . . .	254
Profondeurs - Décompte et tolérances . . . . .	77	Sulfidique (matériau) . . . . .	252
PSEUDO-LUVISOLS . . . . .	201	Systèmes de classification antérieurs consultés . . . . .	321
Publications relatives au Référentiel Pédologique . . . . .	322	Terreux (matériau) . . . . .	174
Qualificatifs (Liste et définitions)	57	THALASSOSOLS . . . . .	154
Qualificatifs relatifs aux excès d'eau . . . . .	73	Thionique (matériau) . . . . .	48, 252
Qualificatifs spécifiques pour les Histosols . . . . .	176	THIOSOLS . . . . .	253
Qualificatifs liés aux taux de saturation, au pH, etc. . . . .	74	TOPOVERTISOLS . . . . .	271
QUASI-LUVISOLS . . . . .	200	VERACRISOLS . . . . .	257
RANKOSOLS . . . . .	237	Vertiques (horizons à propriétés) . . . . .	50
Rédoxiques (horizons g et -g) . .	43, 183	VERTISOLS . . . . .	263
RÉDOXISOLS . . . . .	187	VITROSOLS . . . . .	85
		Xanthomorphe (horizons à caractère) . . . . .	53, 146



# référentiel pédologique

1995

Du neuf pour la connaissance et la dénomination des sols.

Cet ouvrage est une typologie pédologique. Il fait le point complet des connaissances sur les sols du monde (domaine intertropical excepté). Établi à partir de concepts clarifiés et modernisés, le *Référentiel Pédologique* propose un langage clair et bien défini. Plus qu'une simple classification pédologique, il présente une façon d'organiser nos connaissances ; c'est avant tout un outil efficace pour transmettre l'information la plus riche possible et permettre des corrélations entre différentes régions.

Le *Référentiel Pédologique* remplace désormais la Classification des Sols de 1967 (dite CPCS).

Ouvrage indispensable à tous ceux qui ont à prendre en compte les différents « types de sols », il est conçu pour être accessible aux non-spécialistes qui possèdent le vocabulaire de base de la pédologie.

Cette nouvelle édition 1995 contient 11 chapitres nouveaux par rapport à l'édition 1992.



ISBN : 2-7380-0633-7  
ISSN : 1150-3912