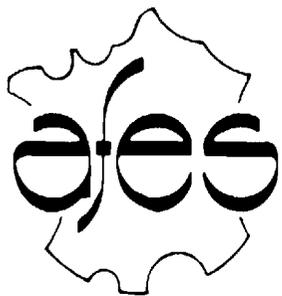


Présentation des principaux GER du Référentiel Pédologique 2008

PARTIE 1

Denis BAIZE

*Institut National de la Recherche Agronomique
- Science des Sols - Orléans – France*



INTERPRÉTATION PÉDOGÉNÉTIQUE des SOLUMS DÉMARCHE

Rappel : La pédogenèse est une évolution très lente, **entièrement située dans le passé et qui de ce fait échappe à l'observateur. Celui-ci en est donc réduit à essayer de la reconstituer, grâce à des démarches et approches variées.**

En revanche, les **fonctionnements actuels des couvertures pédologiques (fonctionnements hydrique, structural, thermique, physico-chimique) intéressent beaucoup plus les utilisateurs et les aménageurs et ils **peuvent être suivis au jour le jour**.**

Ces deux notions ne sont pas antinomiques, bien au contraire. La pédogenèse n'est que la sommation, sur des centaines ou des milliers d'années, des résultats des dynamiques journalières, saisonnières et annuelles.

Le solum que nous observons, décrivons et analysons aujourd'hui est la résultante de l'action de plusieurs processus pédogénétiques ayant agi successivement et/ou simultanément sur un matériau initial.

Le **FONCTIONNEMENT PRÉSENT** du **SOLUM**...

...peut être caractérisé par :

- son pédoclimat ("climat" régnant dans le sol) ;
- son régime hydrique et sa dynamique structurale ;
- la végétation ;
- la forme d'humus ;
- le pH ; l'état du complexe d'échange ;
- la composition des eaux de drainage.

En revanche, **la MORPHOLOGIE et les CONSTITUANTS du SOLUM étudié**
RÉSULTENT de

- **l'héritage** du matériau parental,
- **modifié** par les **effets** des **différents processus pédogénétiques** qui se sont succédé dans le passé.

Tout ce que l'on peut **observer aujourd'hui** (aspects macro- et micro-morphologiques) et **analyser** (analyses granulométriques, chimiques et minéralogiques) est relatif à **ce qui est resté sur place** et qui résulte de transformations plus ou moins importantes.

Le **FONCTIONNEMENT FUTUR** des sols pourra mieux être prévu si l'on comprend bien leur pédogenèse (vis-à-vis des changements climatiques, en réaction aux actions humaines, aux changements d'usages,...).

LOGIQUE de l'ÉTUDE de la PÉDOGENÈSE

Il faut **raisonner en partant du bas**, c'est à dire à partir du matériau sous-jacent non ou peu altéré, et de remonter progressivement vers le haut en se posant toujours les deux mêmes questions :

- **Y a-t-il véritablement parenté entre la roche sous-jacente et tous les horizons pédologiques ?**
- **Quelles transformations sont intervenues ?**

Si la réponse à la première question est non, l'étude de la pédogenèse sera compliquée par le fait que le solum s'est développé dans **plusieurs matériaux différents superposés** (solum dit alors **bilithique** ou **polyolithique**).

Deux exemples de cas où la réponse à la 1^{ère} question est **NON** :

- un horizon de surface caillouteux superposé à des horizons profonds et à un MP non caillouteux (alors que l'inverse est possible) ;
- un horizon de surface argileux au-dessus d'horizons profonds sablo-argileux (sables siliceux). Aucun processus pédologique ne peut faire disparaître ces sables (sous nos climats).

Les MATÉRIAUX PARENTAUX (MP)

Ce sont toutes les roches classiques de la géologie : granites, gneiss, basaltes, marnes, craies, sables, argilites... via leurs altérites (pour certaines)

Mais aussi toutes sortes de **formations superficielles** qui sont très souvent les **véritables matériaux** dans lesquels se sont développés les sols :

- Les **alluvions** (caillouteuses ou fines) et les **colluvions** (fines)
- Les **moraines**
- Les **formations de pentes** grossières (éboulis, "grèzes", "graveluches"), mais aussi fines ou à composantes fines importantes (formations gélifluées à blocs, formations argilo-caillouteuses de Bourgogne)
- Les **lœss** et les formations lœssoides (FCR), les limons des terrasses de la Garonne ou des gaves
- Les **paléosols** et paléosols cryoturbés
- Les **argiles résiduelles** de décarbonatation de roches calcaires dures (argiles à chailles, "terres d'Aubues", "limons de l'Auxois") ou tendres (argiles à silex)

Beaucoup de ces formations sont volontairement négligées ou mal signalées par les cartes géologiques (surtout les plus anciennes qui présentent un "écorché").

MANIFESTE MATÉRIALISTE

Sous nos climats tempérés, le matériau parental détermine de façon très stricte la plupart des propriétés du futur "sol" (le climat ni la végétation n'y pourront rien changer) Et ce par :

- **sa granulométrie (cailloutis, argile lourde, sable, limon)**
- **la granulométrie du résidu de décarbonatation (calcaires durs, FCR)**
- **le caractère plus ou moins altérable des minéraux primaires (quartz, biotite) et la nature des minéraux secondaires néoformés**
- **la nature minéralogique des minéraux argileux (kaolinite, smectites)**
- **sa nature chimique et l' "ambiance" qui en découle (craies).**

Certains phylums pédogénétiques sont interdits pour très longtemps voire totalement interdits pour toujours.

Exemples :

- * **un matériau très argileux smectitique (ou susceptible de fournir un tel matériau) n'évoluera jamais par illuviation d'argile ni podzolisation ;**
- * **un sable quartzeux épais → seulement un podzosol ou un Arénosol (selon végétation).**

1. Les LUVISOLS

Ils occupent de très vastes surfaces dans la moitié nord de la France. Sols fertiles.

Ils sont caractérisés par le processus de "lessivage des argiles" = ÉLUVIATION / ILLUVIATION verticale de particules argileuses (+ oxydes de fer associés)...

...donc par la séquence d'horizons caractéristique **E / BT**

Le processus d'éluviation / illuviation d'argile existe un peu partout (par ex. dans les "arènes" granitiques)... sans forcément mener à la formation de luvisols !

Pour qu'il y ait formation de LUVISOLS, il faut remplir 4 conditions :

- * un climat suffisamment pluvieux où $P \gg ETR$ (si climat trop sec, NON)
- * un matériau suffisamment perméable (si matériaux argileux, NON)
- * présence d'argiles dispersables et lessivables (si sables quartzeux, NON)
- * une durée suffisante...

Quand processus dominant, favorisé par l'existence d'un matériau et d'un climat favorables → conséquences morphologiques majeures (différenciation texturale importante entre horizons E appauvris, décolorés à structure peu stable vs horizons BT enrichis, vivement colorés, à structure anguleuse nette)

→ phylum des LUVISOLS issus de matériaux lœssiques.

CONDITIONS OPTIMALES pour la GENÈSE des LUVISOLS

Matériaux parentaux : matériaux bien triés par l'action du vent à longue distance (pouvant être remaniés plus récemment par ruissellement) d'où une granulométrie où dominent les fractions limoneuses (LT = 65 à 75 %), particulièrement les limons grossiers (rapport LG/LF généralement nettement supérieur à 1 sauf dans les régions marginales comme le Gâtinais de l'Yonne où ce ratio = 1). Peu de sables fins (à l'exception des lœss sableux du Nord Pas-de-Calais et de Belgique) et pratiquement pas de sables grossiers ni d'éléments grossiers.

* **Lœss récents** (12.000 ans) avec encore 10 à 15 % de CaCO_3 , que l'on trouve presque toujours en profondeur aujourd'hui ou

* "**Limons anciens**" (âge > 40.000 ans ?) Étaient-ils calcaires à l'origine ? On ne trouve plus trace aujourd'hui de CaCO_3 , car entièrement transformés par la pédogenèse.

Il existe également de **vrais luvisols, sableux en surface**, développés dans certains matériaux. *nous les verrons plus tard.*

Minéralogie : dominance du quartz et des feldspaths. Assez peu de minéraux primaires altérables, ce sont pourtant eux qui ont fourni les minéraux argileux des horizons BT et BC limono-argileux ou argilo-limoneux et les "argiles" soumises ensuite à l'illuviation.

Nature granulométrique et abondance du résidu non calcaire : dans ce cas où il y a peu de calcaire (moins de 15 %), le résidu (essentiellement limoneux) est peu différent du matériau initial (mais encore plus poreux).

Relief, position topographique : aujourd'hui ils sont en position de plateaux (ces positions sont celles de leur **conservation**, pas forcément celles de dépôt des MP limoneux), plus rarement versants et terrasses alluviales.

Durée : Plus l'âge du dépôt limoneux est grand, plus le sol est avancé dans son évolution vers les Luvisols Dégradés. Les sols issus de loëss récents ne dépassent pas le stade de Luvisol Typique peu rédoxique.

Climat : tempéré océanique, ou à tendance continentale (Alsace) régime hydrique à dominance des flux d'eau descendants.

Toutes choses égales par ailleurs, plus le climat est **pluvieux**, plus la pédogenèse est rapide et plus l'évolution dans le sens du lessivage d'argile, de l'engorgement et de la désaturation du complexe adsorbant des horizons supérieurs, de la "dégradation morphologique" sera avancée.

Exemple 1 : un gradient très fort et rapide de climat est observable dans le Sundgau → passage de Luvisols Typiques relativement sains au nord, à des Luvisols Dégradés très engorgés au sud.

Exemple 2 : Gâtinais de l'Yonne : les sols issus de limons du sud de cette région sont beaucoup plus rédoxiques et dégradés que ceux situés plus au nord. Lien direct avec la pluviométrie et l'altitude. Conséquence : un paysage beaucoup plus forestier et boisé au sud qu'au nord.

Attention : le climat des 10.000 ou 40.000 dernières années n'est pas celui d'aujourd'hui !

Nature et profondeur du substrat :

Toutes choses égales par ailleurs, ce facteur joue un grand rôle sur le fonctionnement hydrique des couvertures pédologiques. Des substrats argileux peu perméables (par ex. les argiles à Meulières du Bassin de Paris) ralentissent considérablement le drainage vertical naturel des sols et génèrent beaucoup plus rapidement des sols beaucoup plus engorgés (Luvisols-Rédoxisols).

Exemples : Hurepoix, Brie humide et Brie boisée, Faux Perche, Gâtinais de l'Yonne, Champagne humide...

Inversement, quand les "limons des plateaux" reposent sur des calcaires (ou des sables), les sols restent sains beaucoup plus longtemps

Exemples : Vexin, Beauce chartraine, autre ?

Actions de l'homme : Cas extrême des Luvisols Dégradés

- révolution dans l'ambiance physico-chimique (saturation du complexe, pH) par **chaulages, fertilisation, amendements** ;
- révolution dans le régime hydrique par **disparition de la forêt** ; et par le **drainage agricole** (effet variable en fonction de la distance au drain) ;
- révolution dans la nature, la quantité et les gradients de MO ainsi que pour la stabilité structurale dans les horizons de surface, pouvant → battance, ruissellement et érosion.

La morphologie du solum reste très semblable (sauf l'épisolum humifère) mais les **fonctionnements** sont totalement modifiés !

Les NÉOLUVISOLS

Le processus d'argilluviation est encore récent. En conséquence, le solum n'est pas encore très différencié.

Indice de différenciation texturale (IDT) compris entre 1,3 et 1,8.

L'horizon E peu marqué : peu appauvri en argile, peu décoloré... Passage progressif entre E et BT. Peu de revêtements argileux bien visibles.

Peu de contraste entre l'horizon BT et les horizons sous-jacents BC et C non calcaires ("lehm").

MP lœssique calcaire encore observable à faible profondeur (entre 100 et 150 cm).

Sols généralement très fertiles (Picardie, Vexin, Sénonais).

Quid si $IDT < 1,3$? Utilisation du qualificatif "appauvri**" qui ne préjuge pas de l'évolution ultérieure vers Néoluvisols, planosols ou pélosols (selon granulo. du MP).**

Exemple : CALCISOLS pachiques, appauvris de Beauce au nord d'Orléans (limono-argileux en surface).

Les LUVISOLS TYPIQUES

Le processus d'argilluviation est bien développé et déjà ancien. En conséquence, le **solum** est **fortement différencié**.

Si taux d'argile du E = X < 10 %	taux d'argile du BT = X + 8 % (9/17)
Si taux d'argile du E entre 10 et 30 %	IDT supérieur à 1,8 (11/20 et 29/52)
Si taux d'argile du E = X > 30 %	taux d'argile du BT > X + 24 % (31/55)

Sous forêts ou prairie, l'horizon de surface A (mull) est aussi éluvié → horizon **Ae**
Sous agriculture l'horizon de surface L est aussi éluvié → horizon **LE**.

L'**horizon E** est **bien marqué** : nettement appauvri en argile et en fer, donc décoloré (teintes beiges...), horizon assez perméable mais structure peu stable. Passage rapide entre horizon E et horizon BT sur lequel on observe généralement de **nombreux revêtements argileux** (faces, canalicules...).

La partie supérieure de l'horizon BT a tendance à se colmater d'où une perméabilité faible et un ressuyage naturel ralenti. En conséquence, la plupart des Luvisols Typiques montrent des signes d'engorgements à la base de l'horizon E et à la partie supérieure du BT → horizons **Eg / BTg** → **Luvisols Typiques rédoxiques**

ATTENTION : ne pas oublier "Typique" "luvisol" n'est pas une référence !

Les LUVISOLS DÉGRADÉS

La "dégradation morphologique" résulte de la **dégradation géochimique** des minéraux argileux, sous l'influence de phénomènes d'oxydo-réduction, au niveau de contact entre horizons E et BTg...

Le BTg se fait "**manger**" progressivement par des volumes blancs très appauvris en argile et en fer... 3 morphologies possibles : en langues ("**glossique**") ou "**à dégradation diffuse**" ou (phase ultime) "**planosolique**".

→ aboutissant à la genèse de volumes très appauvris en fer et en argile bien visibles sur le terrain (même à la tarière) car a) il y a de nettes différences de texture dans un même horizon et b) celui-ci est "tricolore" (ocre / blanc / noir).

Bien distinguer ces volumes très clairs voire blancs et les simples volumes "éluviés" appauvris en argile et en fer, sans dégradation des minéraux argileux.

Illustrations

En surface sous forêts : mull acide voire moder – sous agriculture : horizon LE très blanc, très instable (surtout si pauvre en MO) d'où battance, possibilité de ruissellement et érosion.



Luvisol Dégadé du Faux Perche (OS²)



Luvisol Dégadé de Champagne humide (Yonne)

CARACTÉRISATION des HORIZONS HÉTÉROGÈNES (codés E&BTgd)

Thèse de David Montagne (2006) – distinction de 4 types de volumes par leur couleur dans un "horizon hétérogène" :

	A %	Fe total %	Mn total mg/kg	Interprétation
* volumes ocre	28-32	3,3-4,1	240-300	horizon BT non dégradé
* volumes beiges	18-22	1,4-1,5	160-240	volumes éluviés (horizon E)
* volumes gris-blanc	17-20	1,0-1,1	100-110	volumes "dégradés"
* volumes noirs		4,5-4,9	4200-5800	films et nodules Fe-Mn

Luvisols Dégradés de Champagne Humide (solum Prusy – Baize, 1976) :

Prélèvements sélectifs dans des horizons hétérogènes

		A %	FeL %
Horizon E&BTgd	volumes clairs :	22,1	0,92
	volumes ocre :	29,8	2,56
Horizon BTg (120-170 cm)	volumes ocre :	33,2	2,01
	volumes gris-bleu :	40,3	0,18

CRAS Jamagne et Pédro, 1981 :

Prélèvements sélectifs

Formations limoneuses loessiques du nord de la France
Données granulométriques moyennes

NÉOLUVISOLS

LUVISOLS

LUVISOLS DÉGRADÉS

Argiles (0-2 µm)

	AT %	AF %	ratio AF/AT
Horizon éluvial E	18,5	9,1	0,49
langues dégradées			
Horizon BT2	28,9	16,5	0,57
revêtements argileux	59,7	42,9	0,72
Horizon BT3	24,2	12,9	0,53
Horizon C	20,6	10,5	0,51
IDTs	1,6	1,8	

	AT %	AF %	ratio AF/AT
Horizon éluvial E	15,7	6,2	0,39
Horizon BT2	29,2	16,9	0,58
Horizon BT3	50,9	30,2	0,59
Horizon C	27,1	14,5	0,54
	23,3	11,2	0,48
IDTs	1,9	2,7	

	AT %	AF %	ratio AF/AT
Horizon éluvial E	13,2	4,8	0,36
langues dégradées	15,7	4,6	0,29
Horizon BT2	29,8	17,8	0,60
Horizon BT3	33,2	16,8	0,51
Horizon C	29,4	17,6	0,60
	23,9	11,7	0,49
IDTs	2,3	3,7	

enrichissement relatif
en Q et Kaol.

Limons (2-50 µm)

	ratio LG/LF
Horizon éluvial E	1,91
langues dégradées	
Horizon BT2	1,58
Horizon BT3	1,61

*LF affectés
également par
l'éluviation*

	ratio LG/LF
Horizon éluvial E	1,38
langues dégradées	1,42
Horizon BT2	1,45
Horizon BT3	1,54

*altération
poussée
microdivision
des LG --> LF*

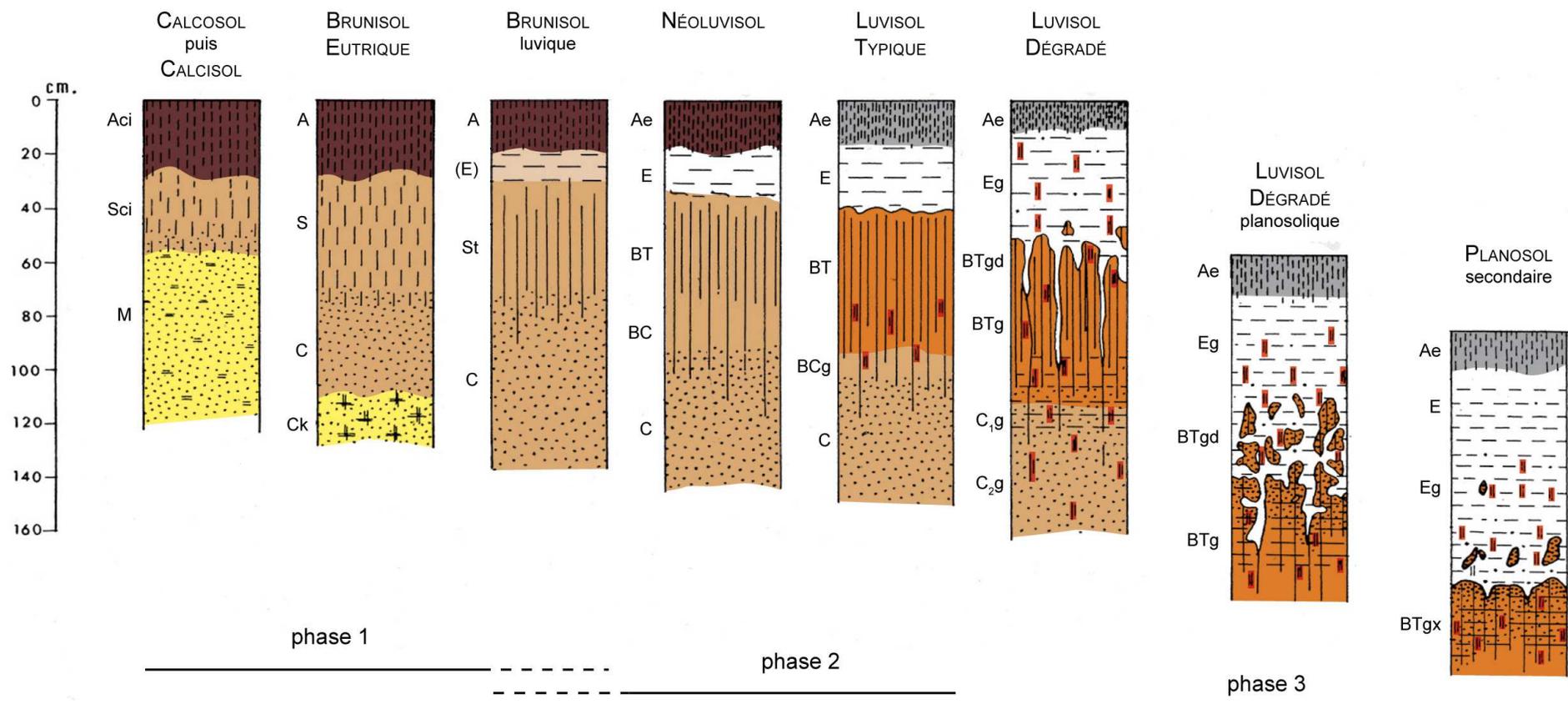
AT = taux d'argiles totales (0-2 µm)

AF = argiles fines (0-0,2 µm)

LF = limons fins (2-20 µm)

LG = limons grossiers (20-50 µm)

La SÉQUENCE d'ÉVOLUTION des SOLS issus de LÈSS dans le NORD de la France, selon JAMAGNE



TRAVAUX DE M. JAMAGNE

décarbonatation + brunification

argilluviation

"dégradation"

Processus successifs :

Phase 1 : altération & brunification

- décarbonatation totale rapide (car faible teneur en calcaire et petits cristaux éparpillés facilement accessibles) ; genèse d'une porosité facilitant la circulation de l'eau ; libération d'argiles emprisonnées dans les particules calcaires
- altération des minéraux altérables → libération d'argiles de néoformation et d'oxydes de fer + structuration en agrégats (→ formation d'un horizon structural S) ;

Phase 2 : éluviation / illuviation primaire en milieu aéré, désaturation progressive du complexe

- illuviation verticale d'argile (surtout les plus fines – argiles 2/1 et smectites) donnant progressivement naissance au couple éluvié-illuvié E / BT ;
- colmatage progressif de l'horizon BT, d'où début d'engorgement au contact E / BT et formation d'un horizon Eg éluvial rédoxique ;

Phase 3 : évolution géochimique forte en milieu chimiquement désaturé et temporairement réducteur – dégradation et illuviation secondaire

- accroissement de l'engorgement – processus d'oxydo-réduction, séparation argiles / fer ;
- désaturation progressive du complexe adsorbant ; aluminisation des feuillets d'argiles
- "dégradation" géochimique des minéraux argileux au sommet du BTg, formation de "glosses" et, plus généralement, de volumes blancs appauvris en argile (horizon BTgd) ; "dégradation diffuse"
- éventuellement "planosolisation" secondaire ultime = la dégradation détruit la totalité de l'ancien BTgd jusqu'à un plancher sub-horizontale.

Hommage à Philippe Duchaufour qui, vers 1948-1951, fut le premier au monde à distinguer et à expliquer clairement la différence entre le processus mécanique de "lessivage" des argiles et la podzolisation (baptisée, plus tard en 1964 : "acidocomplexolyse"). Antérieurement on parlait de "podzols primaires" et de "podzols secondaires" (idem toute l'école soviétique).

Attention aux faux « sols lessivés » qui ont fleuri (et fleurissent encore) dans la littérature et les cartes, anciennes ou plus récentes ! Le transfert vertical doit être vérifié !

Un certain nombre de processus provoquent avec le temps l'apparition d'horizons plus "légers" au-dessus d'horizons plus argileux sans pour autant donner naissance à de véritables luvisols, car cette morphologie différenciée ne résulte pas de transferts verticaux de particules argileuses (avec accumulation "absolue").

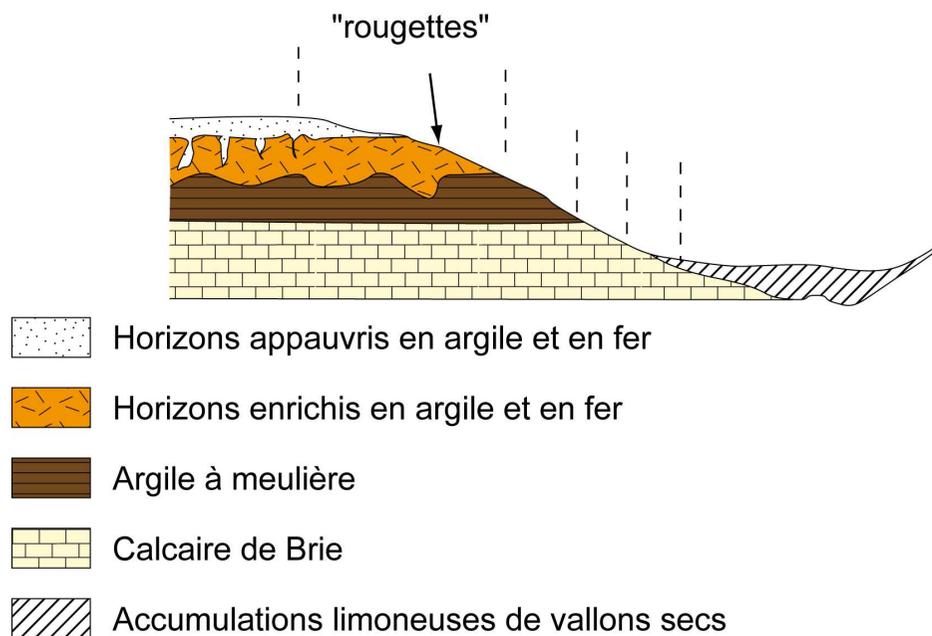
- deux dépôts sédimentaires superposés (solums bilithiques)
- éluviation mécanique en surface avec évacuation latérale (planosols, Pélosols Différenciés) ;
- "dégradosols" directs (acidolyse des minéraux argileux dans la partie supérieure du solum sans argilluviation préalable).

LUVISOLS DERNIQUES et LUVISOLS TRONQUÉS

LUVISOLS DERNIQUES : typiques du nord de la Russie (climat très froid avec gel). Inconnus en France.

LUVISOLS TRONQUÉS : résultent de la troncature de Luvisols Typiques par érosion. En conséquence, les horizons E sont repris dans l'horizon de surface labouré (horizon L) ou bien ont totalement disparus. Les horizons BT ocre un peu rougeâtres, affleurent et sont régulièrement labourés (horizon LBT).

Exemple très typique : plateaux entre Petit et Grand Morin en Seine-et-Marne (Roque, 2007). Ces "sols rougeâtres" entourés de "sols blanchâtres" sont surnommés "rougettes".



LUVISOLS MOINS CLASSIQUES

Luvisols sableux en surface, développés dans certains matériaux

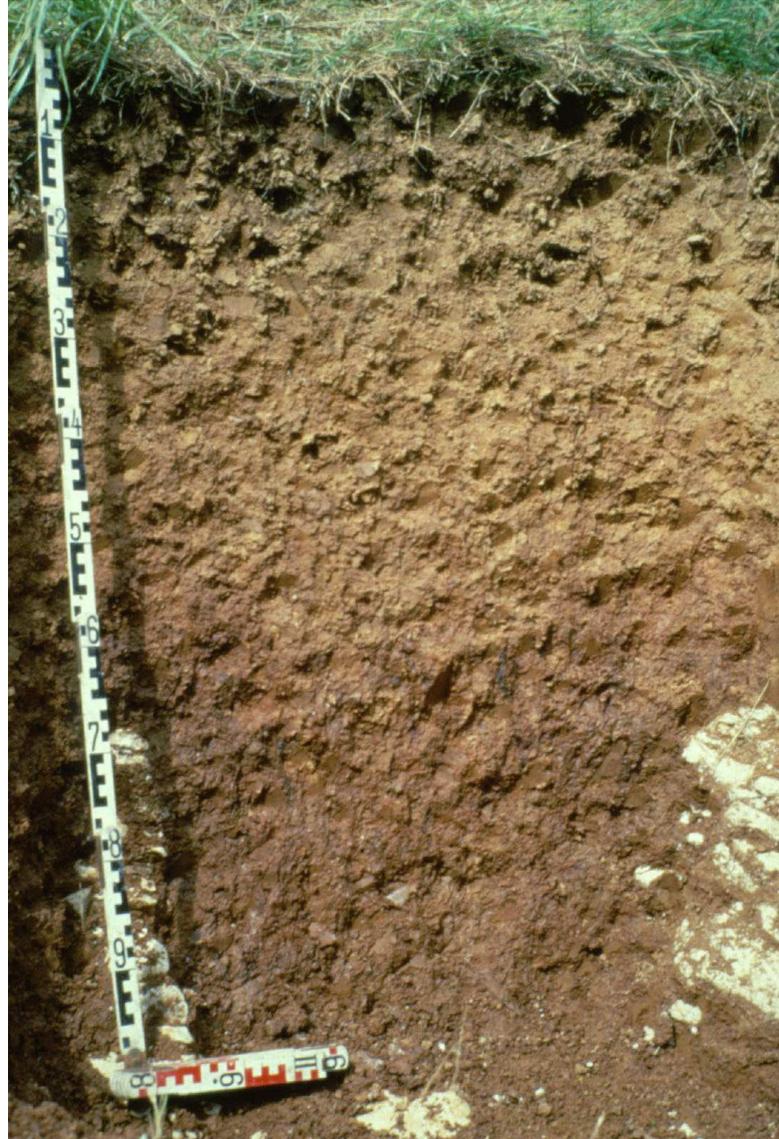
Exemple : bordure sud de la Forêt de Fontainebleau ; plateau formé par le calcaire d'Étampes, recouvert par une formation calcaire redistribuée par le vent (FCR), mélange de poussière calcaire et de grains de sables siliceux soufflés (1^{ère} description par Robin et Deconinck, 1975).

- la décarbonatation totale de cette FCR → un matériau sableux contenant un peu d'argile ;
- le transfert vertical de particules argileuses → **Luvisols Typiques** : horizons E sableux mais BT argilo-sableux, rougeâtres et horizons C calcaires. D'où d'excellentes conditions pour la forêt (réserves d'eau et de calcium), à la différence des **podzols** sous landes développés dans les sables quartzeux stampiens plus au nord.

Luvisols développés secondairement dans de vieux matériaux argileux, résidus de décarbonatation totale de calcaires durs (Baize, 2012).

Exemple : "terres d'Aubues" de Basse Bourgogne. Malgré des textures d'argile lourde, peu propices au processus d'argilluviation verticale, les sols montrent des horizons E (à **18 à 30 % d'argile**) au-dessus d'horizons BT rougeâtres à **45-60 % d'argile**, caractérisés par l'omniprésence des **revêtements argileux** sur les faces d'agrégats, les pores et les chenaux.

Deux causes principales : un **climat "lessivant"** et une durée très longue (**> 800.000 ans**).



"Aubue blanche" des plateaux jurassiques de Basse Bourgogne.

FIN de la PREMIÈRE PARTIE