

# Les couvertures pédologiques de la plate-forme sinémurienne en Bourgogne

## Particularités morphologiques et pédo-géochimiques

D. Baize et J. Chrétien

Collaboration technique D. Meunier et H. Gaillard.

Service d'étude des Sols et de la Carte Pédologique de France, INRA.  
45160 Ardon - France

### RÉSUMÉ

Cet article présente les sols développés dans les formations superficielles recouvrant le calcaire sinémurien sur les bordures est et nord du Morvan (Auxois et Terre Plaine - figure 1). La roche sous-jacente ("calcaire à gryphées arquées") contient de nombreux joints marneux et se comporte globalement comme une assise dure mais peu perméable.

La couverture pédologique peut être aisément décomposée en une toposéquence d'érosion, formée par deux grands ensembles d'horizons et dont les différents stades sont schématisés par quatre solums de plus en plus minces car de plus en plus tronqués (figure 3). Au plan morphologique, trois caractéristiques sont immédiatement évidentes sur le terrain et doivent être soulignées :

- partout l'extrême abondance du fer sous diverses formes ;
- une nette différenciation texturale et des signes d'illuviation dans les solums les plus épais ;
- la présence fréquente de nodules phosphatés plus ou moins altérés.

En ce qui concerne les analyses granulométriques, deux séries de difficultés ont été rencontrées :

- existence de sables grossiers ferrugineux provenant de la fragmentation artificielle de nodules
- et difficultés dans l'estimation correcte de la teneur en argile.

Un chapitre est consacré aux teneurs et aux formes de concentration du fer et du manganèse. Sont passés en revue tous les traits ferro-manganiques : horizons à morphologie particulière ("mâchefers", "bouillies noires") et petits nodules ovoïdes durs surnommés "plombs de chasse". La surabondance des formes figurées du fer pourrait résulter d'une dynamique hydrique de type rédoxique (ancienne ou actuelle) dans un milieu confiné tout à la fois fort argileux et très riche en fer.

Des données sont ensuite présentées relative au phosphore (grande richesse liée aux nodules phosphatés) et aux éléments traces métalliques. Les sols de la plate-forme sinémurienne se singularisent par de très fortes teneurs en tous les éléments étudiés (Co, Cr, Mn et surtout en Pb, Cd, Zn et Ni). En outre, Cd, Pb et Zn présentent des fourchettes extrêmement larges avec des maximums extraordinaires (tableau 4). Sept horizons seulement sur les 46 étudiés se situent sous les normes AFNOR NF U 44 041 pour les sept éléments traces métalliques. Ceci constitue un obstacle réglementaire à l'épandage des boues de stations d'épuration.

L'existence de deux matériaux superposés est envisagée mais il n'existe aucune preuve de discontinuité granulométrique majeure au sein des solums. En revanche, un certain nombre d'arguments d'ordre géologique, spatial et pédogénétique plaident plutôt en faveur d'une autochtonie stricte ou au moins d'une sub-autochtonie.

En conclusion, il s'agirait de vieux sols résiduels ayant subi plusieurs phases paléo-climatiques et résultant parfois d'altérations à cheval sur plusieurs couches liasiques superposées. En outre ce milieu particulier a favorisé la concentration de minéralisations d'origines sédimentaire et/ou hydrothermale (fer, manganèse, phosphore, éléments traces métalliques).

**Mots-clés**

Sols - toposéquence - morphologie - fer - manganèse - éléments traces - Sinémurien - Bourgogne.

**SUMMARY****THE SOIL COVERS ON THE SINEMURIAN STRUCTURAL PLATFORM  
MORPHOLOGICAL AND GEOCHEMICAL PECULIARITIES.**

**(Burgundy - France).**

*This article is devoted to soils which developed over the sinemurian limestone out the northern and eastern borders of the "Morvan" (figure 1). The underlying rock ("limestone with Gryphaea arcuata") shows numerous marly joints and, as a whole, behaves like a hard but slowly permeable stratum.*

*The soil cover can easily be subdivided into a toposequence composed of two sets of horizons the different stages of which are schematized by four solums of decreasing thickness as they are increasingly truncated (figure 3). From a morphological point of view, three features are immediately obvious in the field and have to be underlined :*

- *the superabundance of iron in various forms throughout;*
- *a clear textural differentiation and clay illuviation within the thickest solums ;*
- *the frequent existence of more or less weathered phosphatic nodules.*

*As far as the granulometric analyses are concerned, two sets of problems occurred :*

- *the presence of ferruginous coarse sands resulting from artificial fragmentation of iron nodules ;*
- *and difficulties in assessing the clay content.*

*One chapter is devoted to iron and manganese contents and to their forms of concentration. All the ferro-manganic features are successively presented : horizons with a peculiar morphology ("mâchefer" = "clinker" and "black mush") and small hard egg-shaped nodules known as "lead shots". The overabundance of these features of iron might result from a redoxic water regime (ancient or present) acting in a confined medium with is both clay and iron-rich.*

*In an another chapter data relative to phosphorus and trace metals are presented. The soils of the sinemurian structural platform call attention by their very high concentrations in all the studied elements : Co, Cr, Mn and particularly Pb, Cd, Zn and Ni. In addition, Cd, Pb and Zn show very wide ranges of contents, with exceptional maximum values (table 4). Only seven horizons of the 46 are below the figures of the French AFNOR norm for the seven trace metals. This constitutes a legal obstacle to the spreading of sewage sludges.*

*The hypothesis of two different superposed materials has been envisaged but there is no evidence of major discontinuity within the solums. On the contrary, several arguments rather support the hypothesis of a strict or sub- autochtony, these are of geological, spacial and pedological orders.*

*In conclusion, these soils would be old residual ones, having probably been affected by different paleo-climates and sometimes resulting from weathering processes acting through two successive liasic strata. This particular medium favoured the concentration of previous mineralizations with a sedimentary and/or hydrothermal origin (Fe, Mn, P, trace metals).*

**Key words**

Soils - toposequence - morphology - iron - manganese - trace metals - Sinemurian - Burgundy.

Les prospections de terrain pour l'élaboration des cartes pédologiques de Beaune et Avallon à 1/100 000 ont permis d'aborder dans son ensemble l'étude des couvertures pédologiques des bordures est et nord du Morvan (Auxois en Côte d'Or, Terre Plaine dans l'Yonne). Cet article présente la toposéquence des sols développés dans les formations superficielles recouvrant le calcaire sinémurien sur une épaisseur de 1 à 3 m. Nous n'avons pas pu effectuer des études analytiques ou micromorphologiques approfondies, il s'avère cependant que ces sols montrent des caractères chimiques et macromorphologiques très originaux qui vont être passés en revue.

## CADRE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOLOGIQUE

Le "paysage pédologique" qui nous intéresse appartient à l'auréole liasique (en gris foncé sur la carte de la figure 1) qui ceinture le Morvan au nord et à l'est. Il correspond à une vaste surface structurale s'élevant lentement et de plus en plus découpée et érodée du nord-ouest vers le sud-est, liée strictement à l'existence d'une roche dure intercalée entre des sédiments plus tendres : le "calcaire à gryphées arquées" du Sinémurien.

### Le calcaire sinémurien

Cette formation calcaire, épaisse seulement de 5 à 10 m et dont le stratotype a été décrit à Semur en Auxois, comporte des bancs de calcaire cristallin très durs et compacts (85 à 95 % de  $\text{CaCO}_3$ ) alternant irrégulièrement avec des lits plus argileux (35 à 60 % de  $\text{CaCO}_3$ ). Les bancs calcaires sont continus ou se résolvent en une suite de miches de même composition. Leur surface, aussi bien supérieure qu'inférieure, est très capricieuse, avec de nombreuses gryphées en saillie (Rat *et al.*, 1986). Au dessus du Sinémurien sensu stricto, se situe un niveau de 1 à 3 m d'épaisseur, attribué au Lotharingien, contenant à sa base des nodules phosphatés.

Pour sa thèse, Gauthier (1962) a étudié deux coupes du stratotype de Semur en Auxois. Le fer se trouve en proportions variables selon les bancs et sous deux formes minéralogiques :

ζ les bancs calcaires de la base contiennent 0,5 % de fer total, les bancs marneux 1 % et les bancs irréguliers supérieurs du Lotharingien montrent une richesse croissante en fer, culminant dans les joints marneux et les couches à rognons phosphatés où elle peut atteindre 7 %. Dans la série marneuse supérieure (Domérien inférieur), la teneur en fer diminue à nouveau et reste constante à environ 0,5 %.

ζ à la base, les bancs calcaires comme les joints argileux noirs contiennent de la pyrite ; à mesure que l'on monte dans les coupes, la pyrite laisse place à des oxydes plus ou moins hydratés, de couleur ocre.

D'après M. Amiot, hydrogéologue à l'Université de Dijon (communication orale), le calcaire sinémurien se karstifie mal car il possède des mini-écrans imperméables entre les bancs. Le cumul de ceux-ci constitue un frein à la percolation de l'eau et à la karstification. Des circulations interviennent quand même, mais elles sont freinées en période de fortes précipitations et l'eau stagne au toit de l'assise entraînant une hydromorphie marquée. Un système de fractures et de fissures existe cependant, avec des mini-nappes d'extension limitée entre celles-ci. Le fonctionnement hydrologique global est donc bien différent de celui d'une assise calcaire jurassique telle que le Bathonien ou le Bajocien voisins.

Suite à des études sur la possibilité du drainage agricole en Terre Plaine, Concaret et Voilliot (1969) avaient observé que le substrat calcaire sinémurien était "presque toujours tapissé d'une mince pellicule argileuse qui entrave presque totalement la pénétration de l'eau". Ceci explique que la plupart des sols de la plate-forme sinémurienne ont évolué dans une ambiance de saturation saisonnière par l'eau.

### Paysage

Le paysage agricole traditionnel était celui d'un bocage régulier marqué par l'omniprésence des excès d'eau et la dominance des prairies. Les précipitations moyennes annuelles sont de 858 mm à Avallon ; 778 mm à Semur et 848 mm à Pouilly en Auxois. Depuis deux décennies ce paysage s'est partiellement modifié, suite à la mise en œuvre de programmes d'assainissement collectifs et parcellaires permettant le développement des cultures céréalières. Les sols de la plate-forme sinémurienne couvrent environ 8 100 ha dans le département de l'Yonne et 29 000 ha en Côte d'Or.

## L'ORGANISATION DES COUVERTURES PÉDOLOGIQUES

Dès 1969, Concaret et Voilliot proposaient un schéma de répartition des sols (figure 2) qui a été totalement confirmé par les travaux cartographiques plus récents.

La couverture pédologique peut être aisément décomposée en une toposéquence d'érosion, formée par deux grands ensembles d'horizons et dont les différents stades sont schématisés par quatre solums de plus en plus minces car de plus en plus tronqués (figure 3) :

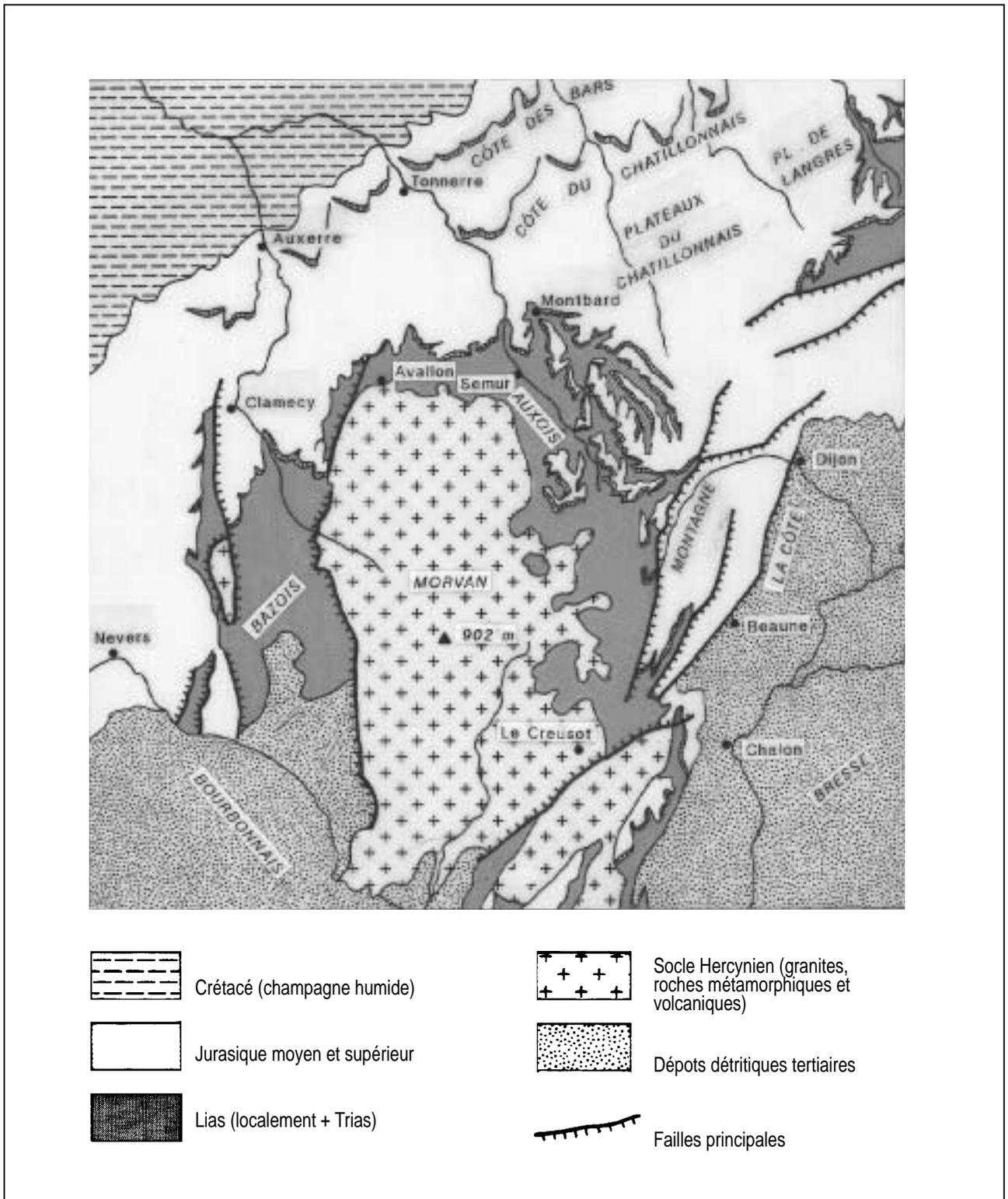
Deux grands ensembles de volumes pédologiques peuvent être différenciés :

ζ des horizons éluviaux limono-argileux, de teintes claires, qui ne subsistent qu'à la partie supérieure des solums les plus épais (codés LE ou Eg) et

ζ des horizons argileux, de teinte générale brun-rougeâtre ou marron, montrant de très nombreux revêtements noirs ferromanganiques sur les faces des agrégats et des amas noirs

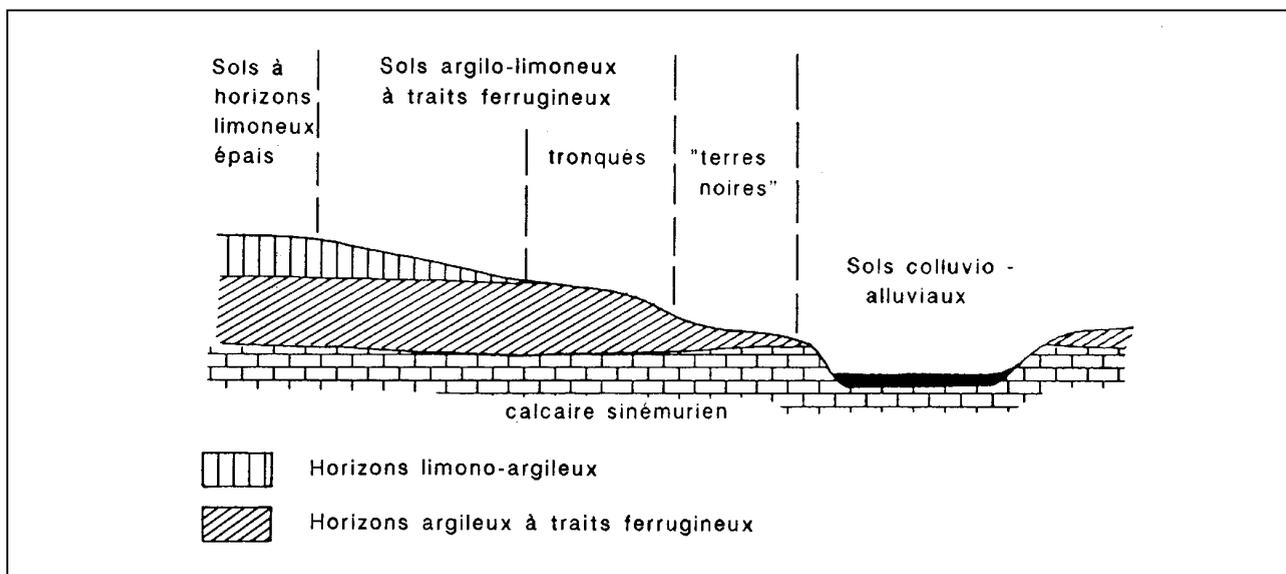
Figure 1 - Carte de situation générale.

Figure 1 - Map of the region. In grey : the liasic sediments.



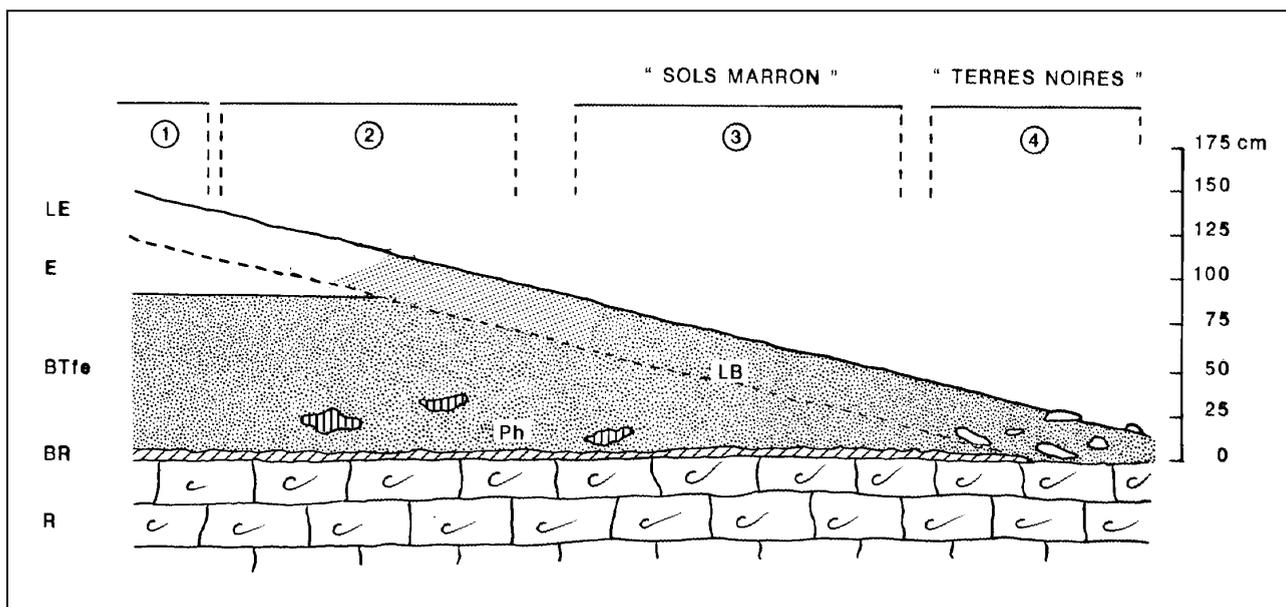
**Figure 2** - Les sols de la plate-forme sinémurienne (d'après Concaret et Voilliot, 1969).

**Figure 2** - The soils of the sinemurian platform (after concaret and Voilliot, 1969).



**Figure 3** - Les quatre types de solums et les différents horizons.

**Figure 3** - The four types of solums and the different horizons.



**Tableau 1** - Teneurs en argile, fer, manganèse et phosphore d'une population de 97 horizons, en g/kg. Les horizons sont classés en quatre grands types selon leur morphologie et leur situation dans les solums.

**Table 1** - Contents in clay, iron, manganese and phosphorus of 97 horizons (expressed as g/kg). The horizons are sorted into four types according to their morphology and location within the solums.

Horizons :	LE ou E	Transition	BTfe	LBR et BR **
Nombre :	(14)	(17)	(49)	(17)
Argile *	160 à 280	228 à 380	298 à 655	237 à 620
Fe total	16,7 à 50,0	27,2 à 70,4	31,4 à 96,5	49,8 à 98,4
Fe Deb*	11,5 à 38,0	19,4 à 58,8	23,5 à 82,6	35,6 à 83,8
Mn total	0,94 à 6,60	0,62 à 9,84	0,29 à 23,44	4,08 à 24,98
P2O5 total	0,80 à 4,8	1,1 à 7,3	0,9 à 93,3	6,2 à 34,4

\* granulométrie "normale" sans pré-traitement par HCl.

\*\* dix horizons de "Terres Noires" + sept horizons de sols épais, au contact du calcaire sinémurien

**Tableau 2** - Comparaison entre analyses granulométriques "normales" (ligne supérieure) et celles réalisées après pré-traitement par HCl (ligne inférieure, en italiques). Quelques exemples.

**Table 2** - Comparison between usual granulometric analyses (upper lines) and the ones obtained after a pre-treatment with HCl (lower lines - italicized). Some examples.

Solum	Horizon	A %	LF %	LG %	SF %	SG %
Vault de Lugny	LE	28,0	35,2	23,1	4,1	9,6
		<i>24,7</i>	<i>45,8</i>	<i>24,0</i>	<i>2,2</i>	<i>3,1</i>
Vault de Lugny	BTfe1	36,0	35,5	15,6	4,0	8,9
		<i>53,0</i>	<i>28,7</i>	<i>14,3</i>	<i>1,4</i>	<i>2,3</i>
Vault de Lugny	BTfe2	40,8	33,3	14,2	3,6	8,1
		<i>52,3</i>	<i>28,8</i>	<i>13,2</i>	<i>1,7</i>	<i>3,7</i>
Vault de Lugny	BTfe3	38,2	31,5	14,5	3,9	11,9
		<i>59,0</i>	<i>24,0</i>	<i>11,8</i>	<i>1,6</i>	<i>3,3</i>
Vault de Lugny	BTR	37,2	32,9	12,6	4,6	12,7
		<i>59,9</i>	<i>22,4</i>	<i>8,8</i>	<i>2,2</i>	<i>5,9</i>
Terre Noire 1	LBR	28,5	39,2	10,7	7,0	14,6
		<i>48,8</i>	<i>21,2</i>	<i>7,4</i>	<i>2,8</i>	<i>10,1</i>
Terre Noire 2	LBR	27,5	40,1	15,1	3,7	13,6
		<i>45,9</i>	<i>31,8</i>	<i>14,6</i>	<i>1,2</i>	<i>4,1</i>
Terre Noire 41	LBR	25,8	38,7	17,9	4,2	13,4
		<i>46,9</i>	<i>29,0</i>	<i>15,0</i>	<i>1,9</i>	<i>5,4</i>

plus ou moins indurés. Ces horizons argileux et ferrugineux codés BTfe se poursuivent en profondeur jusqu'au contact avec le calcaire sinémurien sous-jacent (horizons BR).

Quatre types de solums peuvent être distingués et cartographiés (figure 3) :

ζ type 1

Sols épais, horizons supérieurs limoneux sur 30 à 60 cm d'épaisseur puis horizons profonds argileux (LUVISOLS TYPIQUES ferrugineux - photo1) ;

ζ type 2

Sols épais, limono-argileux en surface sur 20 à 40 cm d'épaisseur puis argileux et ferrugineux en profondeur (LUVISOLS ferrugineux, plus ou moins tronqués) ;

ζ type 3

Sols dont les horizons de surface limoneux ou limono-argileux ont été complètement érodés, donc entièrement argileux et de couleur marron prononcée (LUVISOLS TRONQUÉS, ferrugineux) ;

ζ type 4

Sols minces (épaisseur inférieure à 40 cm), qui reposent directement sur le calcaire du Sinémurien. Sols très riches en fer et en matières organiques d'où une couleur noirâtre et leur surnom : "Terres Noires". Des cailloux calcaires ont souvent été remontés en surface par les labours (RENDOSOLS hypocalcaires ou RENDISOLS, argileux et ferrugineux).

Au plan géographique, cette toposéquence d'érosion se présente de façon constante sur l'ensemble de la plate-forme sinémurienne mais l'importance relative des types de solum est variable. Ainsi dans l'Auxois nord (figure 4a) sur le plateau de Semur, très empâté, les solums de types 1 et 2, les plus épais, dominant largement et les solums de types 3 et 4 n'apparaissent que sur les courtes pentes à l'amont des vallons et ont été regroupés en une seule unité cartographique complexe sur la carte à 1/50 000. En revanche, dans l'Auxois sud, aux environs de Pouilly (figure 4b) où l'érosion s'est fortement manifestée, c'est le contraire : les solums de types 1 et 2 les plus épais ne sont observés que sur les replats sommitaux tandis que dominent les "sols marron" (solums tronqués de type 3) sur pentes faibles et que les solums de type 4 occupent le plus souvent les courts versants des vallons.

Au plan morphologique, trois caractéristiques sont immédiatement évidentes sur le terrain et doivent être soulignées dès maintenant :

ζ une nette différenciation texturale dans les solums les plus épais ;

ζ dans certains solums, la présence de masses jaunâtres de dimensions centimétriques qui s'avèrent être des nodules phosphatés plus ou moins altérés ;

ζ et surtout, dans tous les solums, l'extrême abondance du fer sous diverses formes : enduits et revêtements noirs, "plombs de chasse", horizons de "mâchefers", "bouillies noires", etc.

## ETUDE MORPHOLOGIQUE ET ANALYTIQUE

Pour cette étude nous disposons de 31 fosses observées et 101 horizons analysés auxquels viennent s'ajouter quelques données disponibles dans la littérature (Mériaux et Perrey, 1964 ; Fresse, 1978). Toutes les analyses proviennent du même laboratoire d'analyse (INRA Arras).

### Difficultés relatives aux analyses granulométriques

Pour l'étude des sols de la plate-forme sinémurienne, nous nous sommes heurtés à deux séries de problèmes :

ζ existence de sables grossiers ferrugineux provenant de la fragmentation artificielle des "plombs de chasse" ;

ζ difficultés dans l'estimation de la teneur en argile.

#### Problème des sables grossiers ferrugineux

Le forçage à 2 mm des échantillons avant expédition au laboratoire, même opéré avec précaution, fragmente certainement une partie des nodules ferrugineux de diamètre supérieur à 2 mm. En conséquence, une partie non négligeable des sables grossiers est constitué d'éléments ferrugineux fabriqués artificiellement. Cela pourra troubler des raisonnements basés sur les "squelettes granulométriques" (Bekkary, 1987).

#### Problèmes de dispersion

Les granulométries opérées selon la méthode habituelle ont fourni les teneurs en argile rassemblées dans le tableau 1 par grands types d'horizons.

Dans de nombreux cas, ces résultats d'analyse granulométrique nous ont paru fournir des teneurs en argile anormalement faibles par rapport à la texture telle que perçue sur le terrain. Nous avons donc fait refaire 46 de ces analyses par le même laboratoire (INRA Arras) en demandant simplement le pré-traitement à HCl réservé habituellement aux granulométries après décarbonatation, quoique ces échantillons pour la plupart ne soient nullement calcaires.

Les résultats ainsi obtenus sont très différents (tableau 2). Pour les horizons argileux riches en fer et les "terres noires", de 10 à 20 % d'argile ont été obtenus en plus. Il semble que des ciments ferrugineux aient empêché une dispersion correcte en absence de traitement à HCl. Les gains ainsi constatés en argile se réalisent aux dépens des fractions limons fins et sables grossiers. A cela probablement deux raisons :

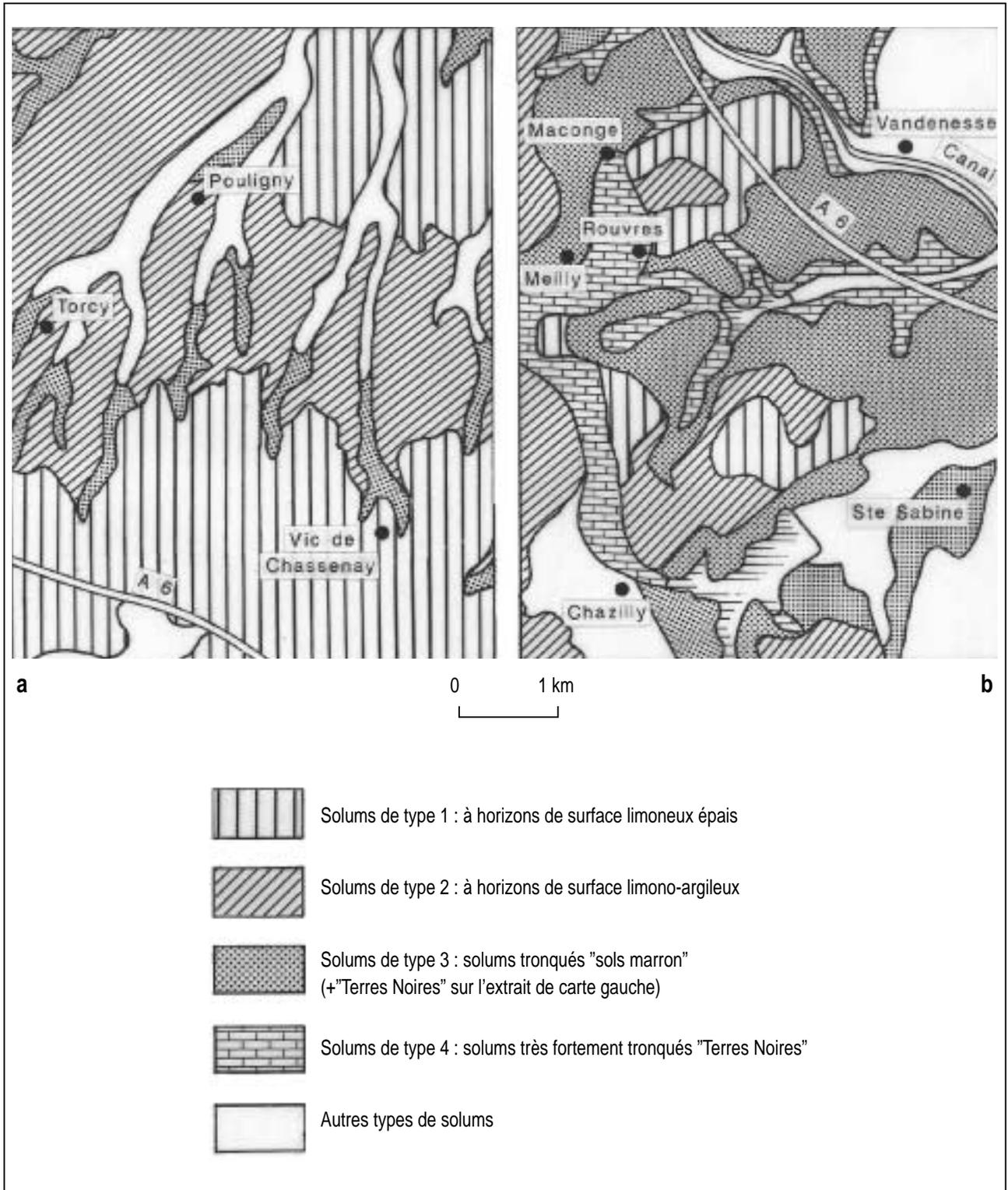
ζ une meilleure dispersion suite à la dissolution de tout ou partie des ciments ferrugineux ;

ζ une dissolution directe des sables ferrugineux (en tout ou partie). De telles différences ont été observées par Bekkary (1987) pour des sols épais développés sur le même calcaire à gryphées du Sinémurien, en Haute-Saône.

ζ Une telle sous-estimation des teneurs en argile dans le

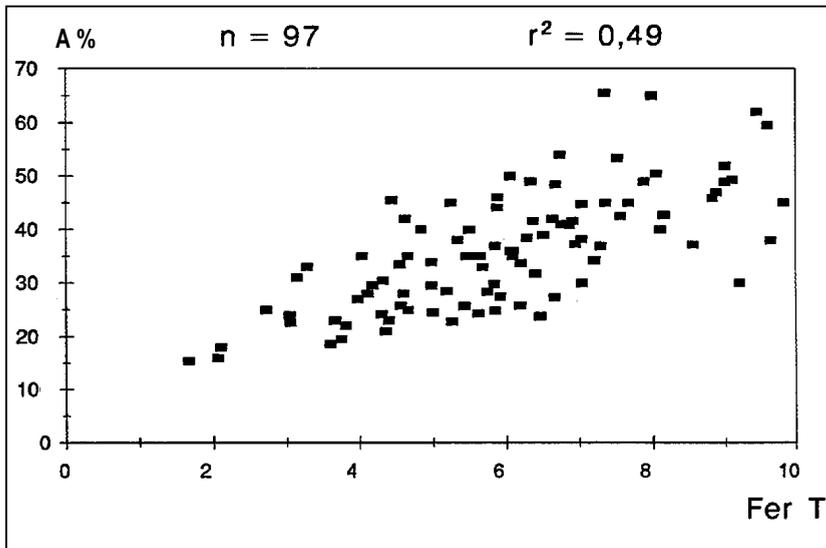
**Figure 4** - Extraits des cartes pédologiques d'Avallon a) et de Beaune b) - Minutes à 1/50 000. Répartition des différents types de sol de la plate-forme sinémurienne.

**Figure 4** - Soil maps of Avallon a) and Beaune b) (drawings at 1/50 000 scale). Spatial distribution of the four different soil types of the sinemurian platform.



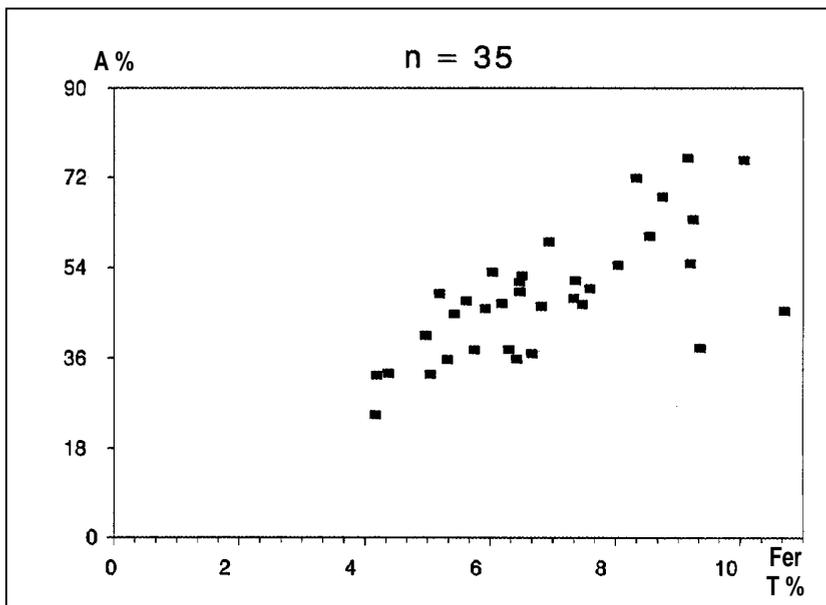
**Figure 5** - Relation entre le fer total (extrait par HF) et la teneur en argile obtenue par analyse granulométrique "normale".

**Figure 5** - Relationship between total iron values (extraction with HF) and clay contents obtained by the usual granulometric analysis.



**Figure 6** - Relation entre le fer total (extrait par HF) et la teneur en argile obtenue par analyse granulométrique spéciale, pour 35 échantillons.

**Figure 6** - Relationship between total iron values (extraction with HF) and clay contents obtained after a pre-treatment with HCl (35 samples).



cas des horizons argilo-limoneux profonds peut mener à des erreurs d'interprétation. Ainsi, Concaret et Voilliot (1969) avaient cru déceler des CEC de 90 mé pour 100 g d'argile, interprétées comme l'indice de la dominance de smectites.

## Fer et manganèse : teneurs et formes figurées

### Teneurs en fer total et en fer libre

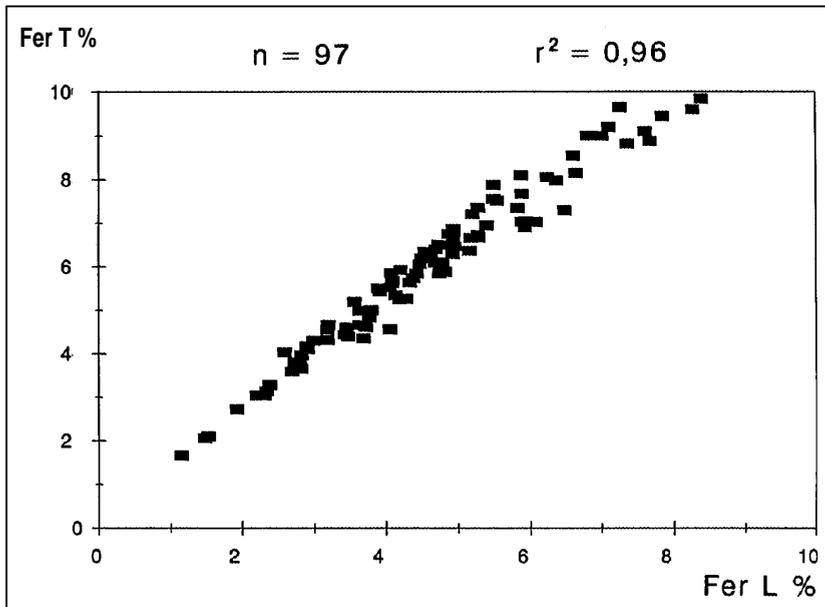
Elles sont très fortes, particulièrement dans les horizons BTfe et BR (4 à 10 % de fer total) et globalement proportionnelles aux teneurs en argile. Le diagramme de la figure 5 illustre la relation entre le fer total (extrait par HF) et la teneur en argile obtenue par granulométrie "normale" c'est-à-dire sans pré-traitement par HCl. Nous avons vu que les valeurs des teneurs en argiles ainsi obtenues étaient souvent sous-estimées suite à une dispersion imparfaite. La figure 6 présente la même relation fer / argile mais seulement pour les 35 échantillons pour lesquels une granulométrie spéciale a pu être réalisée. Il est possible que les deux points qui s'écartent en bas à droite du nuage (fer total > 9 %, teneurs en argile < 46 %) et qui correspondent à des horizons à accumulation ferrugineuse noire issus du même solum) soient encore le résultat d'une mauvaise dispersion.

Le rapport moyen fer total/argile est de l'ordre de 0,139. Cette valeur est nettement supérieure à ce qui a pu être mesuré dans la région pour d'autres types de sols anciens et riches en fer (0,105 pour les "terres d'Aubues" des Plateaux de Bourgogne et 0,102 pour les sols issus des argiles à chailles - Baize, 1991).

Le rapport fer libre (méthode Deb) / fer total est très constant (figure 7), compris entre 0,68 et 0,85 avec une moyenne de 0,76 (entre 0,6 et 0,8 pour les "terres d'Aubues" des Plateaux de Bourgogne et 0,94 pour les sols issus des argiles à chailles - Baize, 1991). La méthode Deb (tartrate - dithionite) est donc incapable d'extraire la totalité du fer qui se trouverait sous une forme relativement bien cristallisée. On notera que ce rapport fer libre /

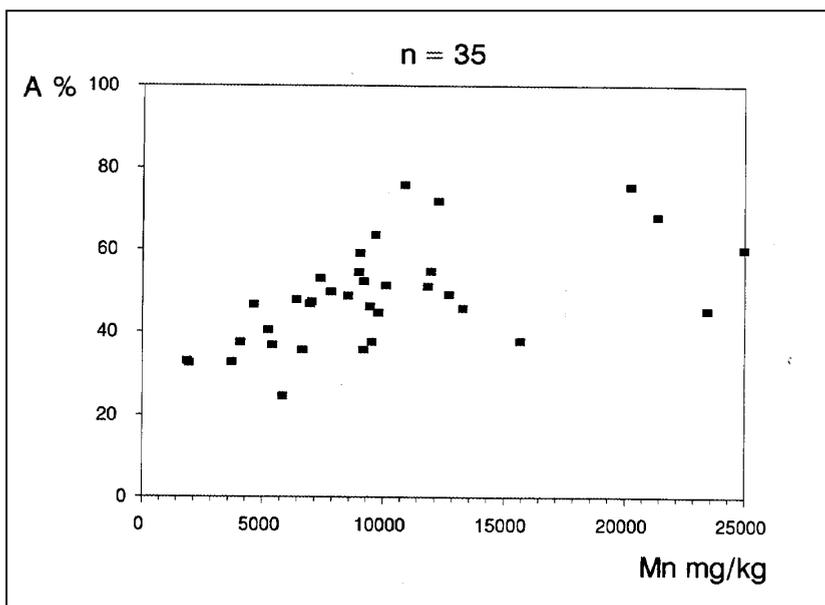
**Figure 7** - Relation entre le fer libre (méthode Deb) et le fer total.

**Figure 7** - Relationship between "free" iron (Deb method) and total iron (extraction with HF).



**Figure 8** - Relation entre les teneurs en manganèse total et le taux d'argile (analyse granulométrique spéciale) pour 35 échantillons.

**Figure 8** - Relationship between total manganese values and clay contents (obtained after a pre-treatment with HCl - 35 samples).



fer total est très voisin de celui obtenu par Chrétien (0,77) sur des concrétions ferrugineuses provenant de sols rouges développés sur la lumachelle ferrugineuse de l'Hettangien, à la limite nord du Morvan (Chrétien, 1967).

Pour les quatre premiers horizons du solum Vault de Lugny (type 2) nous disposons également des valeurs du fer libre déterminée par la méthode Mehra-Jackson (citrate - bicarbonate-dithionite). Ces valeurs sont nettement et systématiquement plus faibles que celles obtenues par la méthode Deb.

Horizon	Deb	Mehra-Jackson
0 - 26 cm	0,75	0,64
26 - 40 cm	0,74	0,64
40 - 58 cm	0,72	0,65
58 - 90 cm	0,86	0,64

#### Teneurs en manganèse total

Elles sont également très élevées et globalement proportionnelles aux teneurs en argile et en fer total (Tableau 1 et figures 8 et 9).

#### Les "plombs de chasse"

Ce sont des petits nodules ferrugineux sub-sphériques, de couleur gris- foncé, de diamètre compris entre 0,5 et 4 mm, à limites extérieures nettes. Ils sont abondants aussi bien dans les horizons éluviaux limono-argileux (où ils sont facilement détectables) que dans les horizons argileux et ferrugineux. Ils sont également très nombreux dans les "Terres Noires". En poids ils représentent 8 à 12 % de la terre totale séchée à l'air.

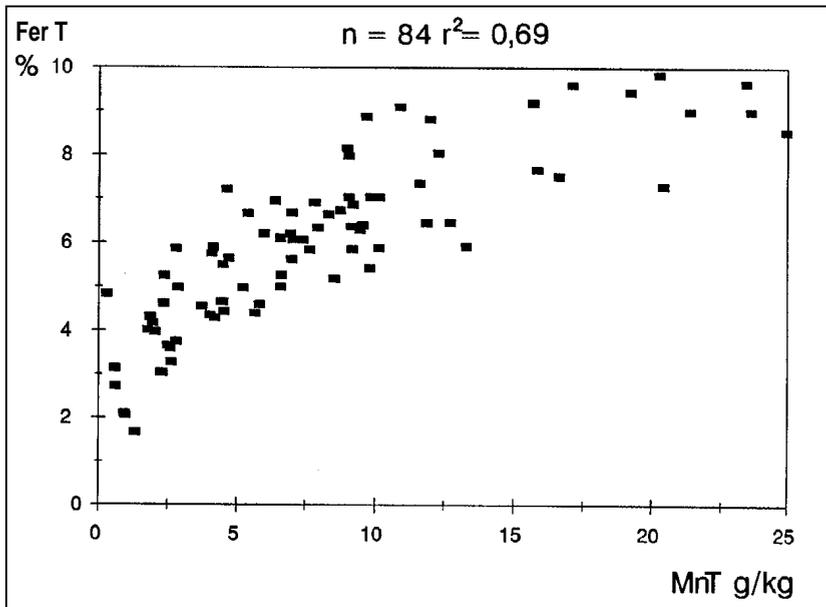
En lames minces, la structure peut parfois être concentrique, mais ce n'est pas la règle générale.

Les "plombs de chasse" semblent peu affectés par la pédogenèse, car on les trouve aussi bien dans les horizons éluviaux que dans les horizons argileux plus profonds.

Les "plombs de chasse" de 3 "Terres Noires" et d'un "sol marron" ont pu être

**Figure 9** -Relation entre les teneurs totales en manganèse et en fer.

**Figure 9** - Relationship between manganese and iron (total contents - extraction with HF).



séparés par lavage, triés à la main pour écarter les quelques quartz ou grains calcaires, puis analysés. Les résultats des analyses totales figurent au tableau 3.

Les teneurs en fer et manganèse sont extrêmement élevées et c'est également le cas (dans un autre ordre de grandeur) pour Zn, Ni, Pb et Cd. On constate cependant que, d'un échantillon à un autre, les teneurs varient fortement (de 1 à 8 pour le plomb - de 1 à 5 pour le cadmium - de 1 à 2 pour le manganèse et le zinc). Cu, Cr et Co ne paraissent pas très abondants si l'on considère qu'il s'agit de nodules d'oxydes métalliques.

Il ne semble pas s'agir de nodules d'origine hydromorphe comparables à ceux qui se forment dans les matériaux limoneux. La formation des "plombs de chasse" serait due à un excès de fer dans un matériau d'altération argileux, drainant mal mais soumis cependant à des phases d'oxydation saisonnières. C'est pourquoi on en rencontre aussi dans d'autres matériaux argileux liasiques (argiles domériennes) et crétacés (Barrémien inférieur, 30 km plus au nord).

#### **Horizons de "mâchefer"**

Ce sont des niveaux de concentration de nodules noirs sphériques (5 à 20 mm), en général assez durs, et de petites lentilles noires, plus ou moins cimentés entre eux, l'ensemble du niveau étant plus ou moins induré, sur une épaisseur de 5 à 20 cm.

Ils ne sont pas toujours présents. Parfois plusieurs niveaux s'individualisent dans un même solum très épais. Ils sont toujours situés en profondeur au sein des horizons argileux ferrugineux mais à des cotes variées par rapport au calcaire sous-jacent. Leur formation est sans doute liée à l'existence (ancienne ou actuelle) d'une nappe ou de plusieurs nappes perchées, superposées ou successives, redistribuant le fer, avec peut-être deux sous-cas :

ζ sommet d'un battement de nappe ou

ζ émergence de circulations latérales.

On les observe souvent en zone bordière de plateau sur pente faible avec des caractéristiques de plus en plus affirmées vers l'aval. Les horizons de mâchefer les plus typiques ont été décrits dans l'Auxois nord, sur la commune de Montberthault (Mériaux et Perrey, 1964). Leur présence semble liée à l'abondance particulière du fer redistribué dans cette zone par les eaux superficielles et dont l'origine pourrait être la lumachelle ferrugineuse hettangienne, très proche. Les auteurs précédents considèrent de tels horizons comme susceptibles de gêner fortement l'enracinement des plantes cultivées.

Au plan chimique, leur composition indique que ce sont des niveaux d'accumulation de fer mais surtout de manganèse et secondairement d'autres métaux (Pb, Zn) (tableau 3, échantillon Boi5).

#### **"Bouillie noire"**

A été décrit sous ce vocable un horizon profond particulier, situé au contact direct avec le calcaire sinémurien sous-jacent. Siège d'une forte humidité permanente, ce niveau paraît argileux, plastique, onctueux, avec des accumulations diffuses noires de fer et de manganèse. A noter qu'il ne contient pas de "plombs de chasse". Parfois, il est épais de quelques centimètres seulement et semble assez uniformément noir. Mais, fréquemment, il est plus épais (un à quelques décimètres) et moins homogène, avec une juxtaposition d'une matrice claire jaune et grise avec d'abondantes accumulations ferro-manganiques noires. Dans tous les cas, il y règne une endo-hydro-morphie quasi-permanente avec souvent une petite nappe saisonnière engendrée par le colmatage des niveaux supérieurs du calcaire à gryphées.

Des données du tableau 3 (échantillons Sab5 et Rsm6), il ressort les points suivants :

ζ les teneurs en argile sont très fortes ;

ζ le taux de carbone est anormalement élevé pour des horizons de profondeur, indice d'une certaine accumulation de matières organiques, peut-être due aux

**Tableau 3** - Quelques données analytiques relatives à deux "bouillies noires", un horizon de "mâchefer", quatre échantillons de "plombs de chasse" et un échantillon de nodules phosphatés.

**Table 3** - Some analytical data relating to two "black mushes", one "clinker" horizon, four "lead shot" samples and one phosphatic nodule.

		"bouillies noires"		mâchefer	"plombs de chasse"				nodules phosphatés
		Sab5	Rsm6	Boi5	VdL	TN41	TN4	TN3	Rsm4
Profondeur	en cm	80-100	115-140	100-128		0-30	0-25	0-25	80-90
Argile *	g/kg	755	681						
Carbone org.	g/kg	6,5	3,8	2,0					2,1
Fer total HF	g/kg	98,4	90,0	73,0	164,5	183,0	121,5	201,0	106,5
Fer Deb	g/kg	83,8	68,0	64,8	157,0				
Fer Deb/ Fer HF		0,85	0,76	0,89	0,95				
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total	g/kg	34,4	23,9	1,5	11,9				231,0
Mn total HF	g/kg	20,3	21,4	17,2	85,0	50,1	76,1	43,9	6,06
Cr total HF	mg/kg	312	167	68,9		97,7	115	145	113
Cd total HF	mg/kg	0,21	0,81			40,0	34,9	8,0	0,77
Co total HF	mg/kg	64,5	37,5		235	189	159	168	246
Ni total HF	mg/kg	373	185	67,7	705	451	497	490	558
Pb total HF	mg/kg	50	57,5	348	1280	822	3200	390	163
Zn total HF	mg/kg	193	464	310	2829	5828	4984	2609	1182
Cu total HF	mg/kg	46,1	45,8	17,3		73,6	91,1	88,0	140

\* teneur en argile obtenue après pré-traitement par HCl.

conditions temporairement réductrices ;

ζ les teneurs en manganèse et en fer total sont très élevées, avec une forte proportion de fer libre.

Par certains caractères cet horizon particulier rappelle les horizons β ou BTβ (Bartelli et Odell, 1960 ; Ducloux, 1970) : horizons situés à la base d'un solum illuvié, au contact d'un matériau carbonaté (calcaires durs, alluvions ou moraines caillouteuses), l'interface constituant une barrière hydro-physico-chimique. Mais un tel horizon n'a jamais été décrit dans un contexte aussi hydromorphe.

#### Enduits et revêtements noirs

Très abondants sur les faces des agrégats dans la plupart des horizons argilo-limoneux, ils sont associés et passent graduellement à des revêtements argileux brun-chocolat. C'est la forme la plus fréquente du fer et du manganèse dans les horizons illuviaux de ces sols ainsi que dans les horizons à nodules phosphatés (photo 2).

#### Conclusion

Cette surabondance des formes figurées du fer pourrait résulter d'une dynamique hydrique de type rédoxique (ancienne ou actuelle) dans un milieu confiné tout à la fois fort argileux

et très riche en fer.

#### Phosphore et nodules phosphatés

Les cartes géologiques signalent ces accidents sédimentaires. Dans la notice de la carte de Pouilly-en-Auxois, on peut lire : "le Lotharingien ou Sinémurien supérieur ... semble présent, peu épais. C'est lui qui aurait donné naissance aux nombreuses exploitations de phosphates qui eurent un grand développement à la fin du siècle dernier. Ces phosphates se présentent sous la forme de nodules correspondant généralement à des fossiles. Ces nodules étaient recueillis dans le limon provenant de l'altération du calcaire".

Ces nodules ont très souvent été décrits dans les "sols marron" où ils montrent des dimensions de 0,5 à 3 cm environ, des formes arrondies, une couleur jaunâtre ou blanchâtre, et un aspect poudreux (photo 2). Ils ne réagissent pas à HCl. La composition d'un échantillon figure au tableau 3. Ils sont plus abondants et plus gros à certains niveaux mais quelquefois aussi isolés. Ces niveaux sont toujours riches en phosphore total mais, inversement, des horizons profonds sans nodules apparents (bouillies noires) peuvent également être très riches en phosphore. Dans ce cas, ou bien les nodules ont été intégrés à la matrice

argileuse ou bien les phosphates proviennent de formes d'accumulation plus diffuses comme celles des lits argileux du Sinémurien sensu stricto.

Les teneurs totales en  $P_2O_5$  varient très largement (de 0,25 à 3,44 g/100g) selon que l'horizon analysé contient ou ne contient pas de tels nodules. On constate qu'il existe une relation grossière entre  $P_2O_5$  d'une part et la teneur en argile, en fer total, en Ni total et en Mn total d'autre part, toutes valeurs qui vont croissant avec la profondeur. Deux horizons décrits comme "à nombreux nodules phosphatés" présentent des teneurs totales en  $P_2O_5$  de 6,11 et 9,33 g/100g.

### Les éléments traces métalliques

Nous avons pu étudier 46 échantillons de façon complète : vingt horizons provenant de cinq solums épais, dix horizons issus de sept "Terres Noires" et onze horizons labourés analysés par le même laboratoire pour la Mission de Valorisation Agricole des Déchets de Côte d'Or. Ces onze échantillons ont été prélevés sur le territoire des communes de Semur-en-Auxois et de Nolay.

Les données du tableau 4 montrent que les sols de la plate-

forme sinémurienne se singularisent par de très fortes teneurs en Co, Cr, Mn et surtout en Pb, Cd, Zn et Ni. Cd, Pb et Zn présentent des fourchettes extrêmement larges avec des maximums exceptionnels. Certaines valeurs extrêmes sont plutôt du domaine de l'anomalie minérale, c'est à dire qu'elles pourraient refléter l'existence de minéralisations dans le calcaire sinémurien, concentrées dans les sols. Seul le cuivre demeure systématiquement dans une basse fourchette de teneurs.

La notice de la carte géologique de Quarré-les-Tombes signale des niveaux marneux du Sinémurien silicifiés et minéralisés en galène et en blende dans les environs de Saint André-en-Terre-Plaine. Silicification et minéralisation seraient épigénétiques et liées à la tectonique complexe de la bordure du Morvan. Sont signalées également des "mouches" de galène dans des terriers d'animaux des surfaces perforées du Lotharingien.

Fe, Mn, Cu, Co, Ni et Cr font partie d'un même cortège, dont l'évolution semble beaucoup plus ressortir à la pédogenèse, aussi bien aux phénomènes d'éluviation/illuviation d'argile et de fer qu'aux redistributions de fer et de manganèse résultant

**Tableau 4** - Teneurs totales en éléments traces métalliques des sols de la plate-forme sinémurienne. Valeurs maximales, minimales, médianes et confrontation aux valeurs de la norme AFNOR NF U 44-041.

Colonne A : valeurs seuils de la norme AFNOR pour les sols,

Colonnes B : nombre d'horizons excédant la norme.

**Table 4** - Soils of the sinemurian platform : trace metals totals contents. Maximum and minimum values, medians and comparison with the values of the french AFNOR norm.

A column : threshold values of the AFNOR norm for soils,

B column : number of horizons exceeding the thresholds.

	Population entière						"Terres Noires" seules			
	nb	mini	maxi	médiane	A	B	nb	mini	maxi	B
Cu ppm	45	8,4	99,0	35,0	100	0	10	37	51	0
Cd ppm	34	0,05	4,30	0,66	2	8	3	2,00	3,70	3
Co ppm	34	15,5	148,0	43,8	30	23	10	20	50	6
Cr ppm	45	48,6	456	115,0	150	13	10	93	149	0
Zn ppm	62	58	3820	372	300	32	11	420	3820	11
Ni ppm	45	16,7	478	101,0	50	38	10	62	141	10
Pb ppm	45	28,0	10180	78,8	100	18	10	107	10180	10
Mn ppm	51	1860	24975	8747			11	4075	13300	
Fe T %	51	4,2	10,7	6,51			11	4,98	6,66	
Fe L %	51	2,9	8,4	4,94			11	3,56	5,18	
A % *	46	17,0	75,9	45,7			11	36,9	51,2	

\* granulométries après pré-traitement par HCl.

tant des intenses processus d'oxydo-réduction qui ont affecté tous les solums (figure 10).

Sept horizons seulement sur les 46 de la population étudiée se situent sous les normes AFNOR pour les sept éléments traces métalliques. Ce sont tous des horizons de surface éluviaux E ou LE, contenant moins de 33 % d'argile. A chaque fois que l'érosion a tronqué les solums et que les horizons BTfe argileux et ferrugineux viennent affleurer à la surface, les valeurs de la norme AFNOR NF U 44 041 se trouvent largement dépassées dans l'horizon labouré. Ceci constitue un obstacle réglementaire à l'épandage des boues de stations d'épuration.

### pH - CEC - Minéralogie des argiles

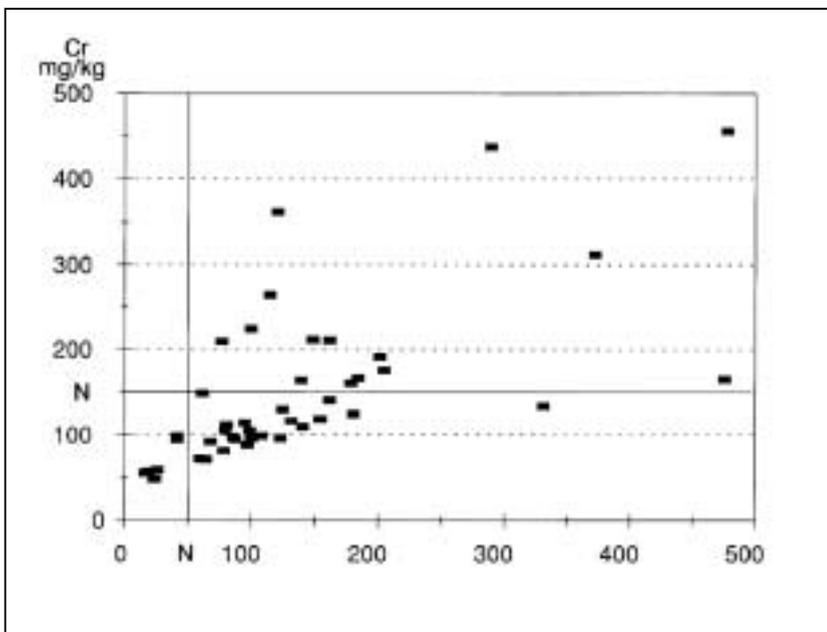
Sous cultures, les pH des horizons labourés et des horizons supérieurs demeurent compris entre 5,5 et 6,5. Seuls les horizons profonds proches du calcaire sous-jacents et les "Terres Noires" montrent des pH supérieurs à 7. Sous forêts, les pH sont acides : de l'ordre de 5,0 dans les horizons éluviaux, compris entre 5,5 et 6,5 dans les horizons BTfe. L'évolution naturelle s'est donc déroulée dans un milieu modérément acide.

Les CEC des fractions argile peuvent être estimées par calcul sur la base de celles mesurées pour les horizons et en fonction des taux de matières organiques et d'argile. Les CEC ainsi obtenues à partir des analyses granulométriques "normales" s'échelonnent entre 30 et 60 milliéquivalents pour 100 g d'argile (tous horizons confondus), ce qui correspond exactement aux valeurs publiées par Fresse (1978). Une étude diffractométrique a montré (figure 11) que la fraction argileuse est constituée d'un mélange complexe de kaolinite, d'illite et de vermiculite, auxquelles s'ajoutent des smectites dans le cas des horizons BT et LBT et de très abondants oxydes de fer.

Nous savions que les données des ana-

**Figure 10** - Relation entre les teneurs totales en nickel et en chrome (N = valeurs de la norme AFNOR NF U 44-041).

**Figure 10** - Relationship between nickel and chromium (total contents - extraction with HF). N = the values of the french AFNOR norm.



lyses granulométriques "normales" sous-estimaient les teneurs en argile et donc provoquaient la sur-estimation des CEC des fractions inférieures à 2  $\mu\text{m}$ . Nous avons donc fait procéder à des analyses chimiques de ces fractions argileuses et à la détermination directe de la CEC par saturation au  $\text{Ba}^{++}$  puis dosage du baryum. Les résultats obtenus sur quatre échantillons (tableau 5) montrent

des valeurs comprises entre 29 et 41. De telles valeurs sont à la fois relativement modestes et bien inférieures à celles évaluées par la calcul. En se basant sur la teneur des fractions argiles en potassium, on peut estimer la proportion d'illite à environ 20 %. On notera également la grande abondance du fer associé aux particules argileuses.

### Signes d'illuviation - Signes de "dégradation morphologique"

A chaque fois que les solums excèdent une certaine épaisseur, une forte différenciation texturale peut être aisément constatée. Dans les horizons argileux et ferrugineux les ferri-argillanes sont nombreux, brun-rougeâtres ou cuivrés mais souvent plus ou moins masqués par leur haut degré de ferruginisation noire.

De même, il est encore souvent possible d'observer de profondes glosses blanchâtres pénétrant dans la partie supérieure des horizons argileux. La limite de ces glosses est souvent soulignée par des accumulations de fer rouille. Leur contenu est nettement plus limoneux et moins argileux que le matériau encaissant.

Dans un contexte particulier de forte hydromorphie dans un milieu argileux très riche en fer et manganèse, les solums de la plate-forme sinémurienne semblent avoir évolué sous l'influence de trois processus :

$\zeta$  illuviation d'argile liée au fer puis

ζ "dégradation morphologique" (Jamagne 1978, 1992) qui ont conduit à un stade de LUVISOLS DÉGRADÉS ;

ζ enfin une phase de tronçure partielle affectant les horizons supérieurs.

## DISCUSSION : UN OU DEUX MATÉRIAUX ? - ALLOCHTONIE OU AUTOCHTONIE ?

Les géologues régionaux ne se sont guère intéressés aux formations superficielles de la plate-forme sinémurienne. Ces dernières sont souvent présentées comme de simples "limons quaternaires" de granulométrie argileuse (notices des cartes géologiques à 1/50 000 Quarré les tombes et Semur en Auxois). P. Rat (1989) synthétise l'opinion quasi-générale sur ces "complexes limoneux plio-quaternaires de l'Auxois". "Le nom ancien de limons de l'Auxois désigne une couverture d'épaisseur variable (jusqu'à 3 m) et de composition non moins

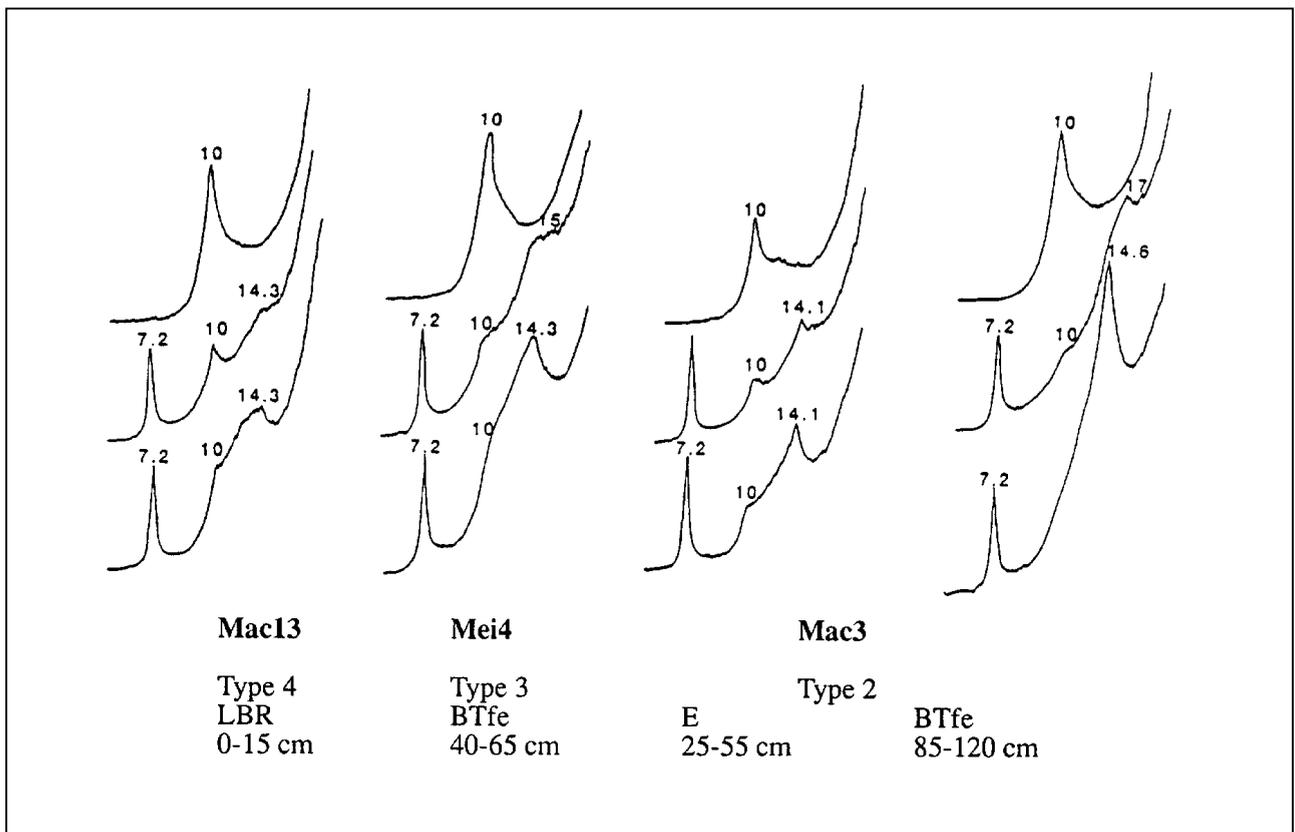
fluctuante, bien développée sur les calcaires sinémuriens de la Terre Plaine à l'ouest de Semur et au sud... Une part du matériau est autochtone ou tout au moins d'origine proche, issu de la phase argilo-silteuse des formations liasiques... Une part est allochtone en provenance du Morvan (graviers granitiques arrondis)... Une troisième part est due à l'évolution sur place (mâchefer)..."

Il y a cependant une exception notable, clairement favorable à l'hypothèse autochtoniste. Dans la notice de la carte géologique Pouilly-en-Auxois, J. Lorenz écrit : "le Calcaire à Gryphées (du Sinémurien) ... forme de grandes plaines très fertiles car il est recouvert d'un épais limon brun foncé provenant de l'altération des calcaires et parfois de la base du Carixien".

On aurait pu imaginer l'existence de deux matériaux superposés, le plus superficiel et le plus limoneux pouvant être d'origine éolienne lointaine. En fait, il n'existe aucune preuve de discontinuité majeure au plan granulométrique au sein des solums. En outre, un certain nombre d'arguments plaident

**Figure 11** - Diffractogrammes X pour quatre échantillons de la toposéquence de Maconge (Côte d'Or).

**Figure 11** - X-ray diffractograms of four horizons from the Maconge toposequence (Côte d'Or department).



**Tableau 5** - Fraction argile (< 2  $\mu\text{m}$ ). Mesure directe de la CEC par saturation au  $\text{Ba}^{++}$  et comparaison avec les estimations faites par calcul. Quelques données chimiques complémentaires.

**Table 5** - Clay fractions (< 2  $\mu\text{m}$ ). Direct measurement of CEC using  $\text{Ba}^{++}$  and comparison with assessments obtained by calculation. Some additional chemical data.

	Mac13	Mei4	Mac3	Mac3	Unité
Type de solum	4	3	2	2	
Type d'horizon	LBR	BTfe	E	BTfe	
Prof. de l'horizon	0-15	40-65	25-55	85-120	cm
Taux d'argile *	36,0	41,6	18,6	36,9	g/100g
Taux d'argile **		49,8			g/100g
CEC argile calculée *	51	51	46	58	cmol+/kg
CEC argile calculée **		44			cmol+/kg
CEC argile mesurée	40,8	36,2	28,7	40,7	cmol+/kg
Fer total de l'argile	7,87	8,60	7,36	7,06	g/100g
K total de l'argile	2,28	1,72	1,86	1,47	g/100g
Mn total de l'argile	3201	4802	1807	1083	mg/kg

\* granulométrie "normale" sans pré-traitement par HCl.

\*\* granulométrie après pré-traitement par HCl.

plutôt en faveur d'une autochtonie stricte ou au moins d'une sub-autochtonie. Ils sont d'ordre :

### Géologique ou spatial :

$\zeta$  la cartographie a permis de constater que les mêmes types de solums (organisés en une même toposéquence) sont observés sur la totalité des affleurements du calcaire à gryphées arquées depuis Vézelay jusqu'à Nolay ;

$\zeta$  on n'observe jamais de nodules phosphatés dans d'autres solums que ceux développés sur le calcaire Sinémurien, ni la couleur très particulière qui leur confère le surnom de "sols marron" ;

$\zeta$  on ne trouve jamais de graviers granitiques en dehors de la stricte zone de contact avec le socle cristallin (quelques hm à 1 km au maximum).

### Pédogénétique :

$\zeta$  Tous horizons confondus, le rapport LF / LG est assez constant et toujours compris entre 1,4 et 3 ou 4 (figure 12). Et ce, malgré les difficultés rencontrées lors des analyses granulométriques (cf. supra). C'est à la fois un signe d'homogénéité granulométrique et un caractère d'altérite. En effet, si l'on considère les limons véritablement allochtones les plus proches ou plus lointains, on trouve les rapports LF/LG :

- limons de Champagne Humide : 0,9 à 1,1

- limons du Gâtinais et du Pays d'Othe : 1,1 à 1,3  
 - limons du faux Perche : 0,8 à 1,0  
 - limons du Pays de Caux : 0,3 à 0,5  
 - limons de Haute Brie : 0,5 à 0,7

Altérites les plus proches :

- "Terres d'Aubues" des Plateaux de Bourgogne : 1,3 à 3,5  
 - Sols développés dans les "argiles à chailles" : 1,3 à 2,2

$\zeta$  La présence des "plombs de chasse" conservés dans les horizons limoneux de surface comme dans tout le reste des solums serait aussi un argument d'autochtonie. Ils seraient typiquement liasiques donc autochtones ou sub-autochtones.

$\zeta$  La présence de lits de nodules phosphatés pratiquement "en place" dans les solums et la richesse exceptionnelle en phosphore et en éléments traces métalliques des solums vont également dans ce sens.

Le caractère autochtone de ces solums semble donc acquis. Mais, dans cette optique autochtoniste, on peut pousser le raisonnement plus loin.

Si l'on prend comme base de calcul que le Lotharingien fait 3 m d'épaisseur, contenant en moyenne 15 g/100 g de résidu argileux et que l'on passe d'une densité apparente de 2,5 à 1,45, on obtient un résidu d'une épaisseur de 70 cm environ.

Donc, lorsque certains solums montrent d'épais horizons

**Figure 12** - Relations entre limons fins (LF) et limons grossiers (LG) :

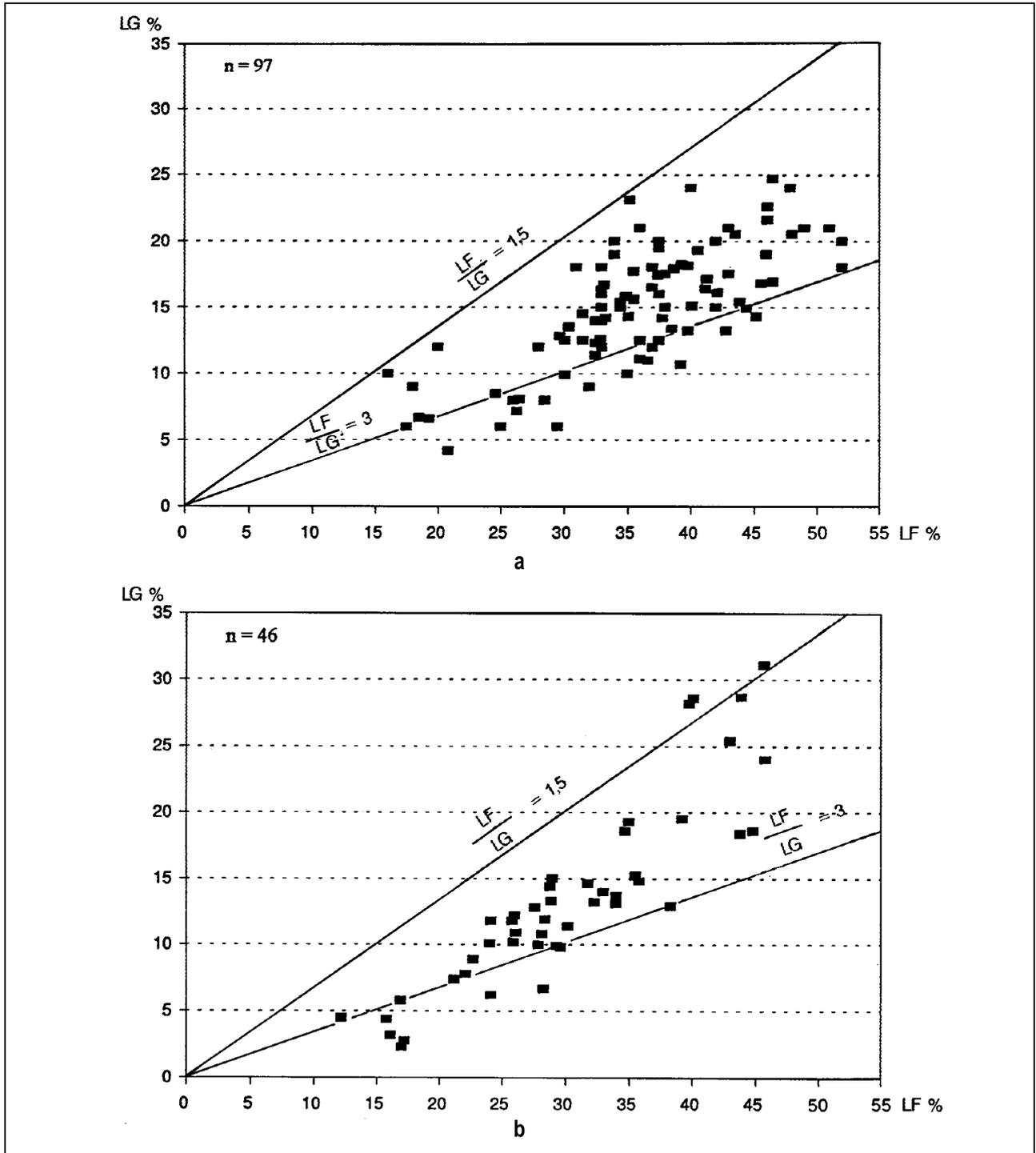
a) pour les analyses granulométriques "normales",

b) pour les analyses granulométriques après pré-traitement à HCl.

**Figure 12** - Relationship between fine silts (LF) and coarse silts (LG) :

a) usual granulometric analyses,

b) obtained after a pre-treatment with HCl.



au-dessus de l'horizon riche en nodules phosphatés, on peut raisonnablement penser que ces horizons supérieurs se sont formés par altération complète des assises sédimentaires situées au-dessus du niveau repère riche en rognons phosphatés, donc aux dépens de la totalité du Lotharingien, voire d'une partie de la formation immédiatement sus-jacente : la base du Carixien marneux.

## PROPRIÉTÉS AGRONOMIQUES ET MISE EN VALEUR

Les bas plateaux sinémuriens constituent une unité pédopaysagique ouverte à dominance de cultures, originale à l'intérieur de la dépression liasique de l'Auxois et de Terre-Plaine. Tous les sols de cette plate-forme présentent un certain nombre de points communs :

ζ sols riches en argile et en fer d'où une structuration favorable et stable ;

ζ capacité d'échange assez élevée ; complexe d'échange sub-saturé ou resaturé ;

ζ fort potentiel en ce qui concerne la rétention en eau et en éléments fertilisants ; richesse naturelle en phosphore.

Toutefois les propriétés et les potentialités agronomiques diffèrent beaucoup en fonction du degré de troncature des solums tout au long des toposéquences d'érosion :

ζ les sols très profonds des types 1 et 2 présentent des horizons de surface labourés limoneux à limono-argileux, à faible stabilité structurale, donc sensible à la battance et à la prise en masse. Des engorgements de sub-surface sont possibles. Leur capacité de stockage pour l'eau (CSE) est très élevée, pouvant atteindre 590 mm pour un solum de 1,50 m d'épaisseur.

ζ les sols moyennement profonds à profonds du type 3 rassemblent des caractéristiques plutôt favorables : bonne structure stable, forte compacité mais bonne perméabilité et signes d'hydromorphie peu accusés ou localisés en profondeur, capacité d'échange importante, capacité de stockage pour l'eau forte. Trois estimations de la CSE ont pu être réalisées grâce à la détermination des densités apparentes de chaque horizon : 380 mm pour un solum de 85 cm d'épaisseur ; 470 mm pour 100 cm ; 550 mm pour 1,10 m.

ζ enfin, les sols les plus minces souvent caillouteux du type 4 ont des propriétés physiques et chimiques plutôt favorables mais leur potentiel agronomique est fortement limité par leur manque d'épaisseur (20 à 40 cm) et parfois par l'abondance des éléments grossiers, d'où une grande sensibilité à la sécheresse (CSE de 75 mm pour 25 cm d'épaisseur).

Nous ne savons pas si les très fortes teneurs naturelles en éléments traces métalliques observées (notamment en Zn, Cd, Pb, ) peuvent avoir à long terme une incidence sur la qualité

des produits agricoles. Des études approfondies vont être menées sur les propriétés de mobilité et de bio-disponibilité des métaux lourds dans ces sols, en collaboration avec l'équipe "Biogéochimie des éléments traces dans les agrosystèmes" de l'INRA de Bordeaux.

## CONCLUSIONS

Concaret et Voilliot (1969) avaient déjà signalé que, à la base des solums, les blocs du calcaire sinémurien sont presque toujours tapissés d'une mince pellicule argileuse et ferrugineuse qui entrave la pénétration de l'eau à ce niveau. A la différence des solums décrits par Bruckert et Bekkary (1992) en Haute-Saône sur le même calcaire sinémurien et des "Terres d'Aubues" sur calcaires purs du Dogger et du Malm (Baize, 1991), les couvertures pédologiques auraient évolué dans un milieu drainant mal à cause d'une roche sous-jacente peu perméable.

La complexité des aspects observables aujourd'hui résulte d'une histoire très ancienne et très complexe tout au long du Quaternaire. Non seulement plusieurs phases bio-climatiques se sont succédées mais encore il est probable que l'altération pédologique a dû affecter non seulement différents niveaux du Sinémurien et du Lotharingien, mais peut-être également du Carixien et du Domérien marneux sus-jacents.

Il s'agirait donc de vieux sols résiduels ayant subi plusieurs phases paléo-climatiques. Ce milieu particulier a favorisé la concentration de minéralisations géogènes, sédimentaires et/ou hydrothermales (fer, manganèse, phosphore, éléments traces métalliques).

L'ampleur de l'érosion est également à souligner. C'est elle qui, en agissant sur de vastes surfaces, est responsable de la morphologie diversifiée des couvertures pédologiques actuelles qui demeurent cependant très typées au plan géochimique.

## REMERCIEMENTS À :

M. Hardy (réalisation des diffractogrammes X) et

M. Amiot (hydrogéologie).

**BIBLIOGRAPHIE**

- Baize D. (1991) - Sols et formations superficielles sur calcaires durs dans le sud-est du Bassin Parisien. *Science du Sol*, vol. 29, 4, p. 265-287
- Bartelli L.J. and Odell R.T. (1960) - Laboratories studies and genesis of a clay enriched horizon in the lowest part of the solum of some brunizem and gray-brown podzolic soils in Illinois. *Soil Sci. Soc. Amer. proc.*, 24, p. 390-395.
- Bekkary M. (1987) - Étude des matériaux des sols brunifiés et hydromorphes d'un même plateau liasique recouvert de limons argileux. DEA. Besançon, 49 p.
- Bruckert S. et Bekkary M. (1992) - Formation des horizons diagnostiques argiliques et de fragipan en fonction de la perméabilité des roches. *Canad. J. Soil Sci.*, 72, p. 69-88.
- Chrétien J. (1967) - Etude des concrétions et matériaux ferrugineux en sol rouge sous climat tempéré. *Ann. Agron.*, 18, (4), p. 339-360.
- Chrétien J. (1995) - Carte pédologique de la France à 1/100 000. Feuille de Beaune. INRA, Orléans (à paraître).
- Concaret J. et Voilliot J.P. (1969) - Etude des sols de l'Yonne. La bordure sud des Plateaux de Bourgogne et la Terre Plaine. Auxerre. Multicopie. 87 p.
- Ducloux J. (1970) - L'horizon bêta des sols lessivés sur substratum calcaire de la plaine poitevine. *Bull. A.F.E.S.*, 3, p. 15-25.
- Fresse J.C. (1978) - Les sols hydromorphes à profil différencié du bassin d'Autun. Thèse 3<sup>è</sup> cycle. Dijon, 134 p.
- Gauthier J. (1962) - Etude sédimentologique et micropaléontologique du Lias inférieur et moyen de l'Auxois (Côte d'Or). Thèse 3<sup>è</sup> cycle. Université de Dijon. 227 p.
- Jamagne M. (1978) - Les processus pédogénétiques dans une séquence évolutive progressive sur formation limoneuse loessique en zone tempérée froide et humide. *C.R. Acad. Sciences, Paris*, t. 286, série D, p. 25-27.
- Jamagne M. (1992) - Chapitre Luvisols in *Référentiel Pédologique. Principaux sols d'Europe*. Baize D. et Girard M.C. édit. INRA, Versailles, 222 p.
- Mériaux S. et Perrey C. (1964) - Caractères généraux et possibilités d'assainissement des sols hydromorphes de Montberthault (Côte d'Or). *Bull. AFES*, n° 10, p. 397-430.
- Notice des cartes géologiques à 1/50.000 : Pouilly-en-Auxois, Quarré-les-Tombes, Semur-en-Auxois, Noyers et Avallon. B.R.G.M. Orléans.
- Rat P. et coll. (1986) - Guide géologique régional Bourgogne-Morvan. 3<sup>è</sup> édition. Masson, Paris. 216 p.
- Rat P. (1989) - Notice de la carte géologique à 1/250 000, feuille Dijon. B.R.G.M. Orléans.

