



HAL
open science

Une curiosité géologique et pédologique : les ultisols des très hautes terrasses d'alluvions mio-pliocène entre Yonne et Cure (France)

Denis Baize

► **To cite this version:**

Denis Baize. Une curiosité géologique et pédologique : les ultisols des très hautes terrasses d'alluvions mio-pliocène entre Yonne et Cure (France). *Étude et Gestion des Sols*, 2019, 26, pp.31-48. hal-02620123

HAL Id: hal-02620123

<https://hal.inrae.fr/hal-02620123>

Submitted on 25 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Une curiosité géologique et pédologique : les ultisols des très hautes terrasses d'alluvions mio-pliocènes entre Yonne et Cure (France)

Denis Baize

INRA, UR2072 Science du Sol, Centre de recherche d'Orléans

*: Auteur correspondant: denis.baize@inra.fr

RÉSUMÉ

Une cartographie à 1/25 000 a mis en évidence, entre Auxerre et Vézelay, entre la rivière Yonne et la Cure son affluent, la présence de sols très particuliers. Ceux-ci sont développés dans des lambeaux résiduels d'alluvions très anciennes (datées du Mio-Pliocène), originaires du Morvan, superposées à des substrats de calcaires jurassiques. L'intense altération des minéraux primaires (calcite, feldspaths, micas, ferromagnésiens) a donné naissance à des minéraux argileux avec une dominance de kaolinites. Très anciens et très altérés, ces sols peuvent être considérés comme des Ultisols de la Soil Taxonomy. La cartographie n'a pas pu réaliser une caractérisation suffisamment poussée de ces sols qui mériteraient d'être étudiés de façon beaucoup plus approfondie.

Mots clés

Ultisols, altération, kaolinite, hautes terrasses, Mio-Pliocène, Yonne.

SUMMARY

A GEOLOGICAL AND PEDOLOGICAL WEIRDNESS: the Ultisols of very high mio-pliocene alluvial terraces located between the rivers Yonne and Cure (France)

The mapping at medium scale has shown the presence, between the river Yonne and its tributary the Cure, of very particular soils. They developed in very old alluvial terraces (dated from Mio-

Comment citer cet article:

Baize D. - 2019 - Une curiosité géologique et pédologique : les ultisols des très hautes terrasses d'alluvions mio-pliocènes entre Yonne et Cure (France), *Etude et Gestion des Sols*, 26, 31-48

Comment télécharger cet article:

<http://www.afes.fr/publications/revue-etude-et-gestion-des-sols/volume-26-numero-1/>

Comment consulter/télécharger

tous les articles de la revue EGS : www.afes/egs/

Pliocene), coming from the Morvan (a granitic massif), overlapping Jurassic limestones. An intense weathering of primary minerals (such as calcite, feldspars, micas and ferromagnesian silicates), has given rise to clay minerals, predominantly kaolinites. Very old and highly weathered, these soils can be considered as Ultisols of the US Soil Taxonomy. Mapping has not been able to carry out a sufficiently detailed characterization of these soils, which should be studied in much more detail.

Key-words

Ultisols, weathering, kaolinite, alluvial terraces, Mio-Pliocene, France.

RESUMEN

UNA CURIOSIDAD GEOLÓGICA Y PEDOLÓGICA: los Ultisoles de las altas terrazas de aluviones mio-pliocenos entre Yonne y Cure (Francia)

Una cartografía a 1/25 000 identificó, entre Auxerre y Vézelay, entre el río Yonne y el río Cure su afluente, la presencia de suelos muy particulares. Estos se desarrollaron sobre pequeñas zonas residuales de aluviones muy antiguos (datados del Mio-Plioceno), originarios del Morvan, sobrepuestos a substratos de calizas jurásicas. La intensidad de la alteración de los minerales primarios (calcita, feldespatos, micas, ferromagnesianos) dio nacimiento a minerales arcillosos con dominancia de caolinitas. Muy antiguos y muy alterados, pueden ser considerados como Ultisoles de la Soil Taxonomy. La cartografía no pudo realizar una caracterización suficientemente precisa de estos suelos que merecen ser estudiados de manera más profundizada.

Palabras clave

Ultisoles, alteración, caolinita, altas terrazas, Mio-Plioceno, Francia.

Cet article présente un secteur du département de l'Yonne dont les sols et leur matériau parental montrent des particularités remarquables. Ces sols ont été cartographiés lors d'une prospection à l'échelle du 1/25 000 pour publication à 1/50 000 (Baize et Voilliot, 1989; Baize, 1996).

Il s'agit d'un secteur de la région naturelle des « Plateaux de Bourgogne » (Baize, 1989) situé entre les vallées de l'Yonne et de la Cure (cf. carte de localisation, *figure 1*).

Les sols, fortement différenciés, sont localisés dans différentes situations géomorphologiques mais présentent une grande unité. Ils se sont développés dans des matériaux allochtones, à l'évidence alluviaux, que l'on peut délimiter aujourd'hui en position de plateaux, à des altitudes relatives comprises entre +35 et +100 m au-dessus du fond des grandes vallées toutes proches, le plus souvent de +70 à +100 m.

C'est la nature des éléments grossiers qui permet de distinguer nettement ces sols des autres sols environnants et d'affirmer leur caractère alluvial. Nous verrons en détail les différentes natures lithologiques de ces gravillons, graviers et cailloux, mais c'est la présence de gros grains de quartz roulés de 2 à 5 mm, minéraux totalement absents des différentes strates jurassiques locales, qui indique sans conteste que ces dépôts sont originaires du Morvan (dont les premiers affleurements granitiques sont situés en amont à seulement 11 km).

C'est Lemoine, semble-t-il, qui en 1908 a compris le premier le caractère alluvial ou torrentiel de ces dépôts qui constituent de véritables terrasses d'alluvions très anciennes, situées à des altitudes élevées. Par la suite, les géologues leur ont attribué un âge mio-pliocène, soit environ 5 millions d'années (Mégrien et Mégrien, 1971).

Au cours de la cartographie, il n'a pas été possible de pousser très loin les investigations. Seront présentées dans cet article un maximum d'informations recueillies lors des prospections et à l'occasion des caractérisations analytiques. Certaines analyses ou déterminations datent des années 1970, la plupart ont été réalisées au cours des années 1980 avec les techniques de l'époque. Puisse cet article inciter une équipe de recherche à réaliser une étude pédogénétique plus approfondie, à l'aide des techniques les plus modernes.

CADRE GÉOLOGIQUE ET GÉOMORPHOLOGIQUE

Les alluvions anciennes mio-pliocènes

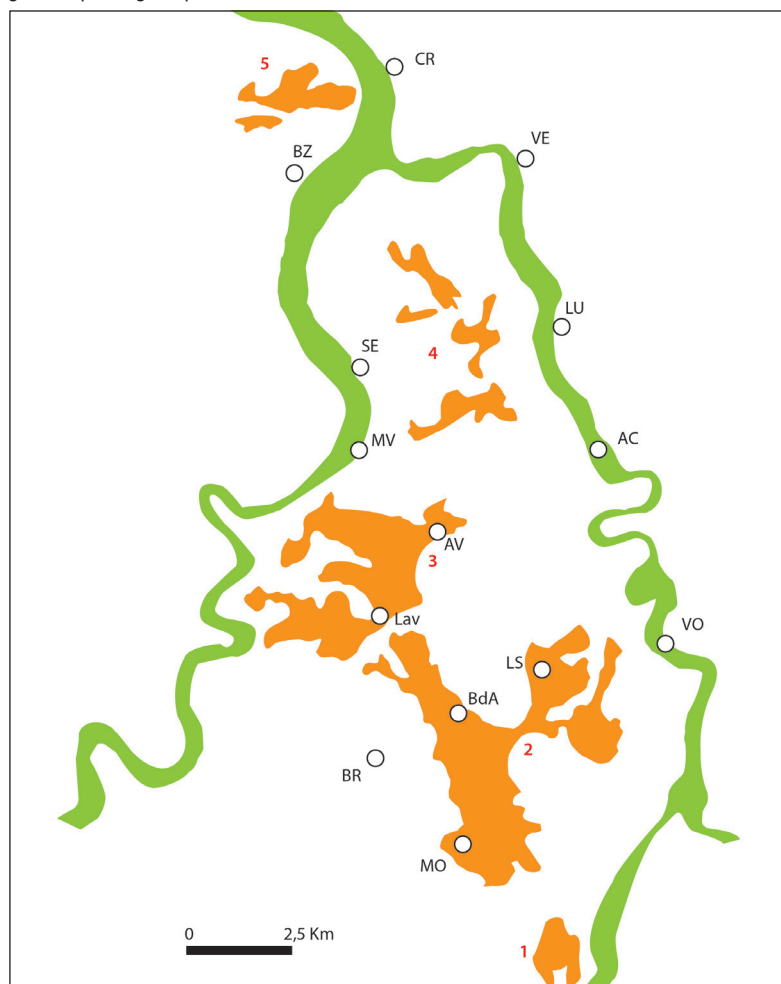
Elles ont été décrites par Collenot (1871), lui-même reprenant des descriptions de Raulin et Leymerie (1858). Nous en présentons ici quelques brefs extraits.

« Dans la partie moins boisée du plateau qui s'étend vers Saint-Moré, il y a deux dépressions qui paraissent autant de petits bassins de l'époque tertiaire. Le premier, dans lequel se

Figure 1 : Localisation des lambeaux de terrasses mio-pliocènes et leurs différentes situations géomorphologiques.

AC = Arcy-sur-Cure; AV = Avigny; BdA = Bois d'Arcy; BR = Brosse; BZ = Bazarnes; CR = Cravant; Lav = Les Avillons; LS = Lac Sauvain; LU = Lucy-sur-Cure; MO = Montillot; MV = Mailly-la-Ville; SE = Sery; VE = Vermenton; VO = Voutenay

Figure 1 : Location of mio-pliocene terraces remnants and their different geomorphological positions.



trouve au sud le village de Montillot ... La tuilerie de Montillot emploie des argiles jaunes tachées de blanc et de rouge, avec quelques gros grains de quartz, qui sont tirées sur une épaisseur de 9 mètres au N.-E. du village et dans lesquels il y a, çà et là, des nids de sable grossier rouge; le tout est recouvert par un sable argileux jaune-rougeâtre, souvent blanchâtre à la surface, un peu remanié, qui renferme de nombreux grains de quartz et des silex. Le second bassin... est limité principalement par les collines de Bois-d'Arcy... Son fond est occupé par des sables argileux jaune-rougeâtre, renfermant des grains de quartz de la grosseur d'un pois et même d'avantage, et aussi de nombreux silex blonds non roulés et des fragments de grès grossier ferrugineux. Le bois de la Mardelle présente également d'épaisses argiles sableuses, jaune fauve, renfermant une grande quantité de silex ».

Ces dépressions ont été interprétées à l'époque comme « un énorme creusement..., indiquant un passage aujourd'hui à sec, d'un grand cours d'eau, ou d'un glacier ».

Cette formation superficielle a peu intéressé les géologues modernes. Mégnien et Mégnien (1971) l'admettent: « Il n'existe pas de bonne coupe de cette formation. On ne peut l'observer que dans des fouilles peu profondes qui servent d'abreuvoirs ». C'est tout juste s'ils peuvent préciser que « Vers Montillot, ces dépôts constituent, sur 10 à 20 m de puissance, le comblement total des paléo-vallées ».

Les premiers géologues du 19^e siècle (notamment Collenot, 1871) ont signalé également plusieurs tuileries situées à La Croix-Ramonet (près des Avillons) et de nombreux gros blocs de grès très durs, souvent disposés en alignements de plusieurs hectomètres de longueur. Tous ces blocs ont été évacués (car gênant l'agriculture) et les tuileries ne sont plus qu'un lointain souvenir.

Les substrats calcaires jurassiques

Il s'agit de différents calcaires d'âges divers, dont les affleurements se succèdent du sud-est au nord-ouest (Mégnien et Mégnien, 1971):

- J2b Bathonien supérieur et moyen. Calcaires oolithiques.
- J3b Callovien moyen. Calcaires cristallins à chailles.
- J5 Oxfordien moyen. Calcaires grumeleux.
- J6a5 Oxfordien supérieur et moyen. Calcaires récifaux de Mailly-le-Château.
- J6a Oxfordien supérieur. Calcaires marneux de Vermenton.
- J6b Oxfordien supérieur. Calcaires sublithographiques de Bazarnes et de Cravant.

Les formations mio-pliocènes sont donc bien en discordance avec les strates jurassiques sous-jacentes.

Localisation actuelle des lambeaux de terrasses

Les lambeaux de terrasses se situent aujourd'hui dans cinq situations géomorphologiques assez différentes (cf. carte de la figure 1). Du sud vers le nord :

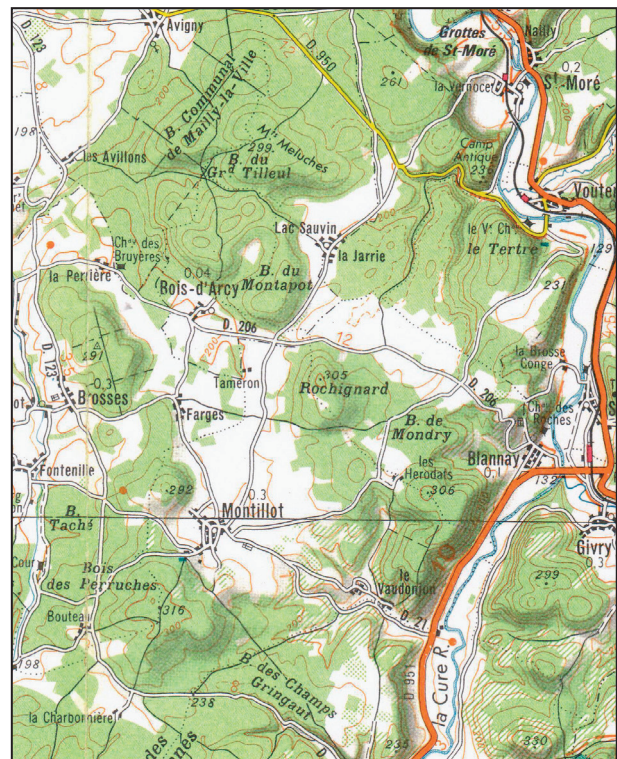
1 - Commune d'Asquins (commune située juste au nord de Vézelay): un lambeau en rebord de plateau en rive gauche de la Cure; dépôts situés entre 210 et 230 m, soit à des altitudes relatives par rapport au fond actuel de la Cure comprises entre + 70 et + 90 m.

Dans son étude communale, Benoit-Janin (1964) a parfaitement décrit ces sols. Il insiste notamment sur l'abondance des grains de quartz arrondis de 2 à 5 mm. Mais, par méconnaissance du contexte régional, il en a donné une interprétation erronée, les considérant comme résultant de l'altération de grès albiens.

2 - Tapissant le fond d'une grande zone plane aux contours irréguliers, cernées de buttes calcaires (les « buttes

Figure 2: Agrandissement de la carte IGN à 1/100 000. Les zones blanches (cultivées) correspondent au grand « poljé » et aux dépôts alluviaux mio-pliocènes tandis que les zones vertes correspondent aux « buttes rondes » boisées.

Figure 2: Enlargement of the map at 1/100 000. The white areas (cultivated) correspond to the large "polje" and to alluvial mio-pliocene deposits whereas the green areas correspond to the wooded "round hillocks".



rondes ») formées par le calcaire récifal de Mailly-le-Château (Montillot, Farges, La Perrière, Bois-d'Arcy, Lac Sauvin, La Jarrie); et secteur de Brosses et Fontenille (figure 2). Les sols de ces lambeaux contrastent avec les sols argileux, rougeâtres, minces, à substrat de calcaires durs ou crayeux, tapissant les pentes des buttes rondes boisées (n° 28 de la figure 3). Dans ce secteur, qui rappelle un « poljé », on peut observer plusieurs dolines de dissolution, appelées localement « mardelles ». Les altitudes vont de 200 à 230 m soit + 74 à + 96 m au-dessus du niveau actuel des deux grandes vallées.

3 - Grand plateau tabulaire en rive droite de l'Yonne à l'est de Mailly-la-Ville (le Bouchet, Avigny, les Avillons, la Croix-Ramonet, le Bois Fourneau); altitudes de 190 à 210 m soit + 68 à + 88 m;

4 - En position de plateau à l'interfluve étroit entre Séry (à l'ouest) et Lucy-sur-Cure (à l'est); à des altitudes comprises entre 200 et 210 soit + 80 à + 90 m;

5 - Le plus en aval et en rive gauche de l'Yonne: un lambeau en position sommitale au nord-ouest de Bazarnes; à des altitudes comprises entre 150 et 170 m soit + 35 à + 55 m au-dessus de la vallée.

Tous ces secteurs sont aujourd'hui cultivés, les seules rares forêts se situent à proximité du village de Lac Sauvin (cf. fosse « Bois de la Mardelle »). En revanche, les collines assez pentues formées par le calcaire récifal de Mailly-le-Château sont couvertes de forêts.

LES SOLS DÉVELOPPÉS DANS LES FORMATIONS MIO-PLIOCÈNES

En fonction d'un degré variable de troncature par érosion, la cartographie a pu distinguer et délimiter trois sous-types de sols:

- des solums qui semblent « complets » caractérisés par des horizons supérieurs beiges, limoneux ou limono-sableux, épais de 35 à 60 cm au-dessus d'argiles bariolées (n° 14 de la figure 3);

- des solums légèrement tronqués, dont les horizons supérieurs limoneux, ne sont épais que de 20 à 35 cm; passage sans transition à des horizons profonds argileux, vivement colorés, peu perméables. C'est le sous-type de sol le plus fréquemment observé (n° 15 de la figure 3).

- des solums situés en rebord de plateau, tronqués par l'érosion, ocre-jaune et argileux dès la surface (n° 16 de la figure 3).

Quand les solums ne sont pas trop tronqués, on note un phénomène généralisé d'appauvrissement en argiles et en fer des horizons supérieurs. Il en résulte une accumulation relative des sables grossiers et des éléments grossiers > 2 mm (cf. tableau 1). En outre, des revêtements argileux rougeâtres ont été observés, sur les faces d'agrégats et sur les cailloux, au moins à la partie supérieure des horizons argileux profonds (cf. annexes I et II).

La description et la caractérisation analytique de deux fosses sont présentées en annexes: « Bois de la Mardelle », située sous forêt (annexe I et figure 4) et « Bois d'Arcy »,

Figure 3: Répartition des sols dans le secteur de Montillot et Bois d'Arcy (Baize, 1989).

- Sols développés dans les formations mio-pliocènes
 - 14: solums « complets »
 - 15: solums légèrement tronqués
 - 16: solums tronqués, argileux dès la surface
- Autres sols:
 - 28: sols argileux, rougeâtres, non calcaires, épais de 15 à 35 cm, sur calcaire récifal
 - 29: sols squelettiques des sommets des « buttes rondes »
 - 42 ou 39: autres sols, d'épaisseurs moyennes, calcaires, des bas de versants.

Figure 3: Distribution of soils in the Montillot and Bois d'Arcy area.

- Soils developed in mio-pliocene deposits.
 - 14: non-truncated soils.
 - 15: soils slightly truncated.
 - 16: noticeably truncated soils, clayey from their surface.
- Other soils
 - 28: clayey reddish soils, non-calcareous, from 15 to 35 cm thick, over reef limestones.
 - 29: skeletal soils located on the top of the "round hillocks".
 - 42 or 39: other soils, medium-thick and calcareous, of the downslopes.

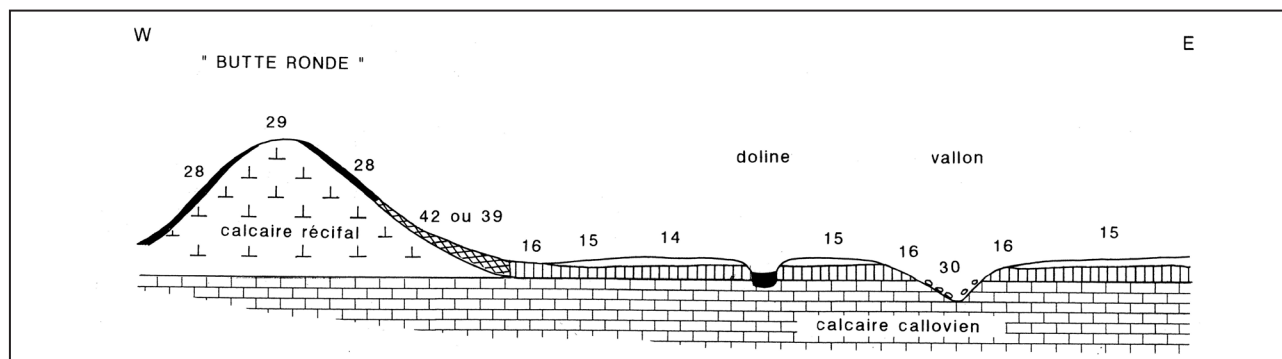


Tableau 1 : Caractéristiques granulométriques.**Table 1 :** Particle size data.

| | Granulométrie en % de la terre fine | | | | | Éléments grossiers en % |
|--|-------------------------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------------------|
| | Argile | Limons Fins | Limons grossiers | Sables fins | Sables grossiers | |
| Horizons supérieurs limoneux ou limono-sableux | 10 à 20 | 10 à 40 | 10 à 28 | 5 à 13 | 10 à 32 (1) | 5 à 36 |
| Horizons de transition | 24 à 32 | 25 à 35 | 11 à 25 | 3 à 8 | 7 à 23 | 1 à 36 |
| Horizons profonds argileux | 43 à 65 | 9 à 30 | 3 à 16 | 2 à 12 | 3 à 17 (2) | 1 à 18 |

(1) variante a, horizons supérieurs : 40 à 45 % de sables grossiers

(2) variante a, horizons profonds : 30 à 40 % de sables grossiers

sous cultures (étudié dans le cadre du programme SOLAR; annexe II).

Granulométrie

Les caractéristiques granulométriques figurent au tableau 1. Elles proviennent de l'analyse d'une quarantaine d'horizons. Sur base granulométrique, deux variantes peuvent être ajoutées : la variante a) caractérisée par une plus grande abondance de sables grossiers et de graviers et une variante b) qui se distingue par l'absence presque complète d'éléments grossiers (zone entre Bois d'Arcy et Farges).

En outre, le rapport entre limons fins et limons grossiers est remarquablement constant :

$$LG = 0,805 \times LF - 4 \quad R = 0,94 \quad N = 39 \text{ horizons.}$$

Les éléments grossiers

D'un site à un autre, leur abondance actuelle est très variable (tableau 1). Leurs dimensions vont des gravillons (nombreux), aux cailloux, à des pierres, jusqu'à de rares blocs¹. Ce qui est le plus révélateur est l'absence totale d'éléments calcaires : tous ces fragments sont de nature siliceuse et leur forme est souvent émoussée ou arrondie. On reconnaît :

- des gros grains de quartz, souvent arrondis (mais pas toujours);
- des fragments de chailles, qui sont des accidents siliceux contenus dans les calcaires datés du Callovien moyen (Baize, 1991) affleurant en amont. Ce sont les seuls éléments d'origine proche;
- des cailloux arrondis de couleur brune considérés comme des fragments déplacés de certaines roches liasiques, silicifiées au contact du Morvan, et que l'on observe également

1 - Un des « bras » du grand poljé s'appelle « vallée Poruchot ». Or tous les termes vernaculaires tels que « perruches », « perrichet », « perroche » et l'adjectif « perrucheux » correspondent dans le nord de la France à des sols caillouteux dont les éléments grossiers sont durs et siliceux (chailles, silex).

Figure 4 : Solum « Bois de la Mardelle ».**Figure 4 :** The « Bois de la Mardelle » profile.

dans les terrasses d'alluvions plus récentes, y compris les alluvions modernes.

- des morceaux roulés de quartz laiteux de filons;
 - des grès ferrugineux grossiers, attribués à l'Albien qui jalonnent de nombreux points hauts des plateaux jurassiques.
- En outre, de gros blocs de grès lustrés très durs ont été men-

tionnés par les auteurs anciens (Raulin et Leymerie, 1858; Collenot, 1871) attribués au Sparnacien. Aujourd'hui ils ont disparu car ils gênaient l'exploitation agricole. Lemoine (1908) fait état également de « galets de silex de la craie » dans lesquels auraient été observés des fossiles du Sénonien. La carte géologique d'Avallon à 1/80 000 signale en effet plusieurs très petits lambeaux crétacés, localisés plus au sud (Horon *et al.*, 1964).

Autres données analytiques (tableau 2)

La CEC de la fraction argile a été grossièrement estimée en admettant que les matières organiques avaient une CEC intrinsèque forfaitaire de 200 cmol+/kg de MO (soit 2 cmol+ pour chaque pour cent de MO) mais ce chiffre demeure approximatif et, dans le cas des horizons supérieurs très appauvris en argile, la CECarg obtenue ainsi par calcul est parfois négative (ainsi que la CEC elle-même). Les résultats relatifs aux horizons profonds argileux varient largement de 15 à 30 mé/100 g d'argile. Comme on le verra plus loin, même si les kaolinites dominent, elles ne sont pas seules dans le cortège des minéraux argileux. Le tableau 3 montre deux anomalies par rapport à nos connaissances générales sur les teneurs en éléments traces dans les

sols (Duigou et Baize, 2010). D'une part, cinq analyses excèdent 40 mg de plomb par kg alors que la médiane nationale pour les horizons de surface de sols agricoles est de 21,7 mg/kg. Il s'agit de deux échantillons pris en surface mais aussi de trois échantillons prélevés en profondeur pour lesquelles les retombées atmosphériques générales de ce métal (Baize, 2010) ne peuvent pas être invoquées. Il s'agit bien d'une particularité de constitution qui peut être mise en relation avec les minéralisations décrites et exploitées à la limite nord du Morvan, au contact entre le socle et les sédiments du Jurassique inférieur (Baize et Chrétien, 1994).

D'autre part, la teneur en cuivre de l'horizon de surface du solum Bazarnes montre une légère contamination, en relation avec l'existence d'un verger de cerisiers qui venait d'être arraché (observations de 1970, époque des premières prospections) et donc consécutive à des traitements phytosanitaires.

Tableau 2: Autres données analytiques.

Table 2: Other analytical data.

| | | |
|--|---|---|
| CEC (mé/100 g) | Horizons supérieurs: 3,3 à 7,5 | Horizons profonds argileux: 8,3 à 17,5 |
| CEC argiles estimée en mé/100 g | | Horizons profonds argileux: 15 à 30 |
| Matières organiques (%) | Horizons labourés: 1,9 à 3,1 | Horizons profonds argileux: 0,26 à 0,91 |
| pH eau sous cultures | Horizons supérieurs: 5,7 à 7,8 | Horizons profonds argileux: 5,4 à 7,8 |
| Fer total (%) | Horizons supérieurs: 1,1 à 2,1 | Horizons profonds argileux: 2,9 à 6,8 |
| Fer libre Deb (%) | Horizons supérieurs: 0,9 à 1,9 | Horizons profonds argileux: 2,1 à 6,6 |
| Calcul pour tous types d'horizons confondus: | Fer libre = 0,905 × Fer total – 0,36 (R = 0,95) | |
| | Fer total = 0,093 × A – 4,8 (R = 0,86) | |

Tableau 3: Teneurs totales en fer et en éléments traces métalliques (dosages après extraction triacide dont l'acide fluorhydrique HF) pour sept échantillons.

Table 3: Total contents in iron and trace metals (determination after digestion with three acids including hydrofluoric acid) for seven samples.

| | Prof. | Argile | Fe | Cu | Zn | Cr | Ni | Co | Pb | Cd | Mn |
|---------------|---------|--------|------|-----------------------------|-----|-------|------|------|------|------|------|
| | cm | % | % | Milligrammes par kilogramme | | | | | | | |
| la Mardelle 1 | 0 – 5 | 19,6 | 1,03 | 7,0 | 46 | 31,5 | 8,6 | 2,8 | 37,6 | 0,25 | 285 |
| la Mardelle 2 | 5 – 35 | 15,6 | 1,36 | 6,2 | 33 | 41,5 | 13,3 | 8,0 | 26,4 | 0,05 | 378 |
| la Mardelle 3 | 78-100 | 62,0 | 1,71 | 12,8 | 90 | 108,0 | 34,1 | 3,2 | 51,3 | 0,07 | 55 |
| la Perrière 1 | 0 – 31 | 30,0 | 2,64 | 15,9 | 89 | 58,7 | 35,2 | 18,7 | 43,6 | 0,51 | 1481 |
| la Perrière 2 | 31 – 50 | 52,8 | 4,04 | 18,0 | 122 | 92,6 | 60,8 | 19,7 | 43,1 | 0,31 | 1259 |
| Bazarnes 1 | 0 – 20 | 31,9 | 2,77 | 27,8 | 72 | 57,5 | 33,6 | 14,0 | 40,9 | 0,36 | 972 |
| Bazarnes 3 | 45 – 70 | 51,2 | 4,04 | 12,7 | 96 | 77,5 | 48,6 | 16,5 | 40,3 | 0,22 | 841 |

Tableau 4: Minéralogie de la fraction < 2 µm. Interprétation qualitative des 5 diffractogrammes disponibles.**Table 4:** Mineralogy of the < 2 µm fraction. Qualitative interpretation of the 5 available diffractograms.

| | | A % | Kaolinite | Illite | Smectite | Vermiculite | Quartz | Goethite |
|-------------|-----------|-----|-----------|--------|----------|-------------|--------|----------|
| 5026-1 | 0-25 cm | 20 | •••• | •• | | •• | •• | •• |
| Bazarnes 2 | 25-45 cm | 18 | ••• | • | • | | • | |
| Bazarnes 3 | 45-70 cm | 58 | ••• | •• | | | • | • |
| Bois d'Arcy | 25-55 cm | 49 | ••••• | •• | • | • | •• | •• |
| la Mardelle | 78-100 cm | 62 | ••••• | • | • | | • | • |

A : teneur en argile

Autres caractérisations minéralogiques et micromorphologiques

Minéralogie de la fraction argiles par diffraction de rayons X

Seulement cinq diffractogrammes sont disponibles, tous réalisés sur les fractions < 2 µm séparées, saturées par l'ion Mg⁺⁺, puis disposées sur lames de verre (« argiles orientées »). Deux ont été faits en 1970 par le Laboratoire des Sols de Versailles (échantillons Bazarnes), les trois autres en 1985 à l'INRA d'Orléans. Les interprétations de l'époque y ont décelé le même cortège minéralogique, très largement dominé par la kaolinite (tableau 4 et tableau 5).

Trois diffractogrammes sont présentés (figures 5 à 7) qui montrent que la kaolinite domine dans les trois échantillons. Dans les trois cas il y a un pic moins intense vers 10 Å (avec son harmonique à environ 5 Å) qui correspond à de l'illite (ou à un mica altéré) et un autre pic à 14,3 Å qui peut être attribué soit à de la smectite soit à de la chlorite. Après traitement à l'éthylène glycol, le pic à 14,3 Å se maintient et un pic à 17 Å apparaît (diagramme non présenté) : chlorite et smectite peuvent donc être toutes deux présentes. Enfin, si le pic à 14 Å revient à 10 Å après chauffage, il s'agit de vermiculite.

L'intensité du signal entre 10 Å et 14 Å indique la présence d'interstratifiés entre une phase à 10 Å et une phase à 14 Å. Enfin, sur les figures 5 et 6, on ne voit pas de raies correspondant à des feldspaths (qui seraient à 3,20 et 3,24 Å).

Examen de lames minces

Nous ne disposons que de deux lames minces fort anciennes (1970) mais parfaitement exploitables. Elles proviennent du lambeau de terrasse situé au nord-ouest de Bazarnes (n° 5 sur la figure 1). Il s'agit d'horizons argileux de moyenne profondeur.

LAME BAZ 112

- squelette formé de quelques gros grains de quartz ; de limons ; de grès ferrugineux ;
- fond matriciel très abondant, riche en fer et en argile ;
- l'argile forme de très beaux revêtements autour des vides

et forme comme un cortex autour des grains de quartz (assemblage plasmique squelsépique de Brewer) ;

- quelques beaux ferriargilanes d'illuviation à proximité de quartz ;
- assez nombreux fragments de très beaux ferriargilanes très purs réincorporés au fond matriciel.

LAME BZ HTP (figures 8 à 10)

- squelette formé par de très nombreux petits grains de quartz ;
- fond matriciel composé de très nombreux petits grains de limons, de fer et d'un peu d'argile ; certaines zones paraissent plus riches en argile et en fer ;
- nombreux épais ferriargilanes d'illuviation microlités, colmatant complètement les espaces inter-grains (figures 8 et 9) ;
- argilanes impurs et non striés revêtant des grains de quartz ;
- petits fragments argileux translucides, non striés.

Il y a ce que l'on voit : l'abondance du fer, la présence de beaux ferriargilanes en place ou fragmentés... Mais plus intéressant encore est ce que l'on ne voit pas et qu'on aurait pu voir étant donné l'origine morvandelle du matériau alluvial.

Selon Horon *et al.* (1966), le socle du Morvan Nord est constitué par : a) un granite rose à deux micas (dit « granulite » d'Avallon) ; b) un complexe de micaschistes, anatexites et embréchites ; c) des granites porphyroïdes à biotite et muscovite ; d) un complexe de granites d'anatexie. Au point de vue minéralogique, outre le quartz, on note la dominance du microcline (feldspath potassique), de l'oligoclase (feldspath plagioclase) et des deux micas biotite et muscovite, cette dernière étant toujours moins abondante que la biotite.

Or l'examen des lames fait apparaître l'absence de biotite, de muscovite et de feldspaths qu'ils soient potassiques ou sodi-calciques. Tous ces minéraux, dont la plupart ne sont pas très aisément altérables, auraient été altérés par hydrolyse et transformés en argiles.

Étant donné l'âge de ces dépôts, les matériaux et les sols ont subi plusieurs phases de climats périglaciaires et donc des cryoturbations. C'est sans doute la cause de la fragmentation de nombreux ferriargilanes et argilanes.

Figure 5: Diffractogramme de l'échantillon 5026-1 (horizon LE - 0-25 cm -argiles orientées – Mg).

Figure 5: Diffractogram of the sample 5026-1 (eluvial ploughed horizon - oriented clays – Mg).

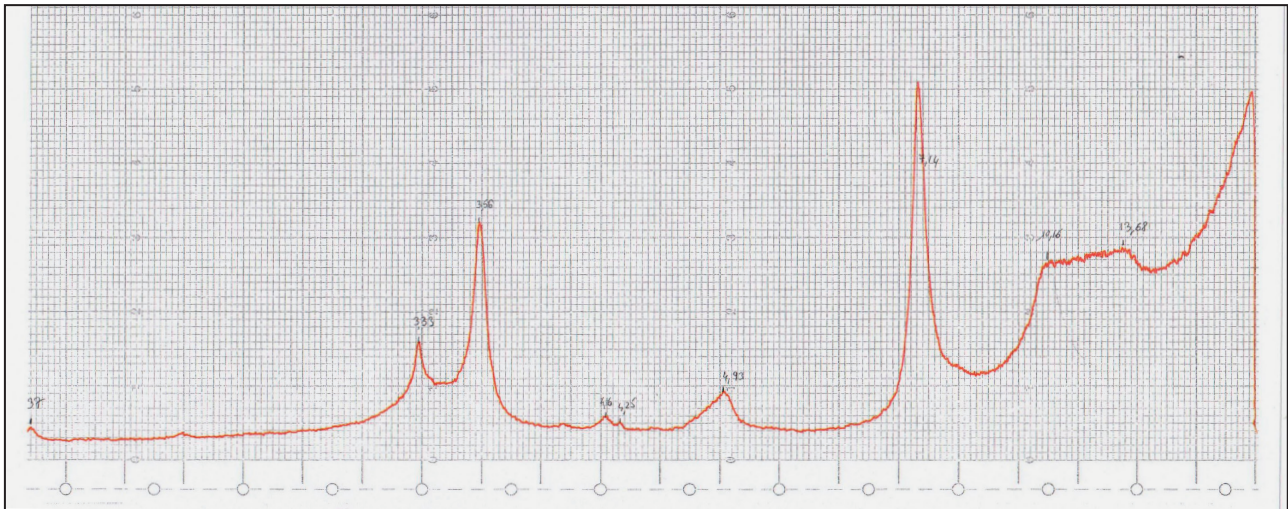
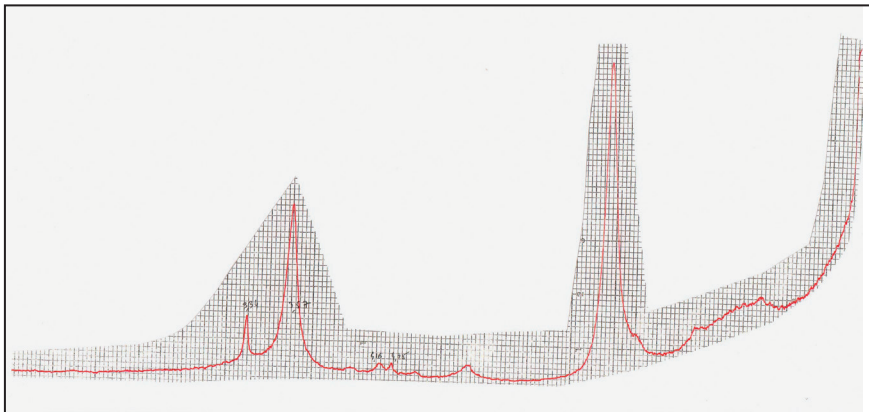


Figure 6: Diffractogramme de l'échantillon Bois d'Arcy 25-55 cm (argiles orientées – Mg).

Figure 6: Diffractogram of the sample Bois d'Arcy 78-100 cm (oriented clays – Mg).



Il s'agit d'un sol cultivé dont les coordonnées en Lambert II sont X = 706,5; Y = 2285,8.

0-25 cm: limono-argileux, beige-gris, quelques gros cailloux de chailles très altérés.

25-75 cm: argile onctueuse, rouge-brique à rares taches jaunes.

Un échantillon a été prélevé entre 30 et 75 de profondeur pour analyses (tableau 6 V.5236).

L'échantillon s'avère très argileux mais, surtout, très riche en fer: 10,6 % de fer élémentaire total, extrait par une méthode triacide incluant l'acide fluorhydrique HF. Mais il s'agit uniquement de fer « libre »,

puisque tout ce fer est également extrait par la méthode de Deb (Deb, 1950).

Le tableau 7 présente les teneurs totales (exprimées en oxydes) obtenues sur la terre fine de l'horizon pris dans son

Le sondage V.5236

Ce sondage a attiré notre attention par sa couleur exceptionnelle rouge violacé. C'est pourquoi un échantillon a été soumis à une caractérisation minéralogique plus approfondie.

Tableau 5: Raies visibles sans et après traitements à l'éthylène-glycol (EG) et par chauffages à 250 et 400 °C.

d.n.r = diagrammes non retrouvés.

Table 5: Visible rays without and after treatments with ethylene glycol (EG) and after heating at 250 and 400 °C.

d.n.r = diagrams not found.

| | | Mg - normal | EG | 250 °C | 400 °C |
|-------------|-----------|---------------------------|------------|---------|--------|
| 5026-1 | 0-25 cm | 14 10 7 interstrat. 14-10 | 14 10 7 | 14 10 7 | 10 7 |
| Bois d'Arcy | 25-55 cm | 14 10 7 interstrat. 14-10 | 17 14 10 7 | 10 7 | 10 7 |
| la Mardelle | 70-100 cm | 14 10 7 interstrat. 14-10 | 17 14 10 7 | d.n.r. | d.n.r. |

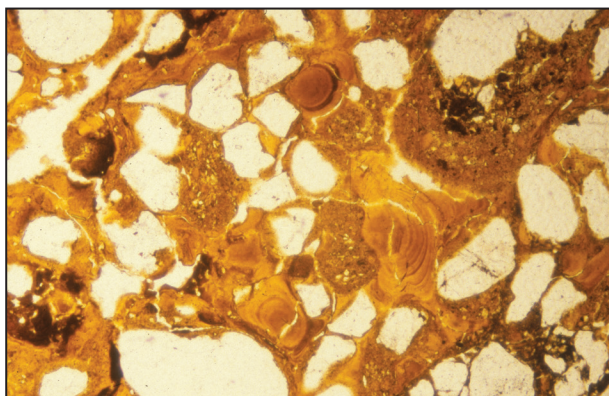
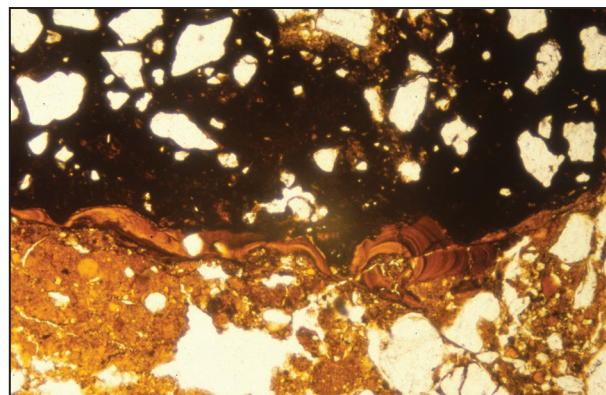
Tableau 6 : Résultats analytiques obtenus en 1985 sur un horizon argileux rouge violacé du sondage V.5236.**Table 6**: Analytical data obtained in 1985 for a clayey purplish red horizon (auger boring number V.5236).

| Profondeur en cm | CEC | FER | | | Carb. Org. % | pH eau |
|---------------------|--------------------|---------------|----------------|---------------------|-----------------|--------|
| | Argile mé/100 g | Total HF % | Libre Deb % | Rapport Deb / HF | | |
| 30-75 | 14,9 | 10,60 | 10,60 | 1,0 | 0,24 | 6,6 |

Tableau 7 : Sondage V. 5236, horizon argileux rouge violacé. Analyses chimiques totales. Teneurs exprimées en %. Hor. = horizon pris dans son ensemble; FA: fraction < 2 µm; PAF = perte au feu à 1 100 °C; n.d. = non déterminé.**Table 7**: Auger boring number V.5236, clayey purplish red horizon. Total concentration expressed as %.

Hor. = the horizon as a whole; FA = clay fraction < 2 µm; PAF = loss on ignition at 1 100 °C; n.d. = not determined.

| | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | K ₂ O | MgO | CaO | Na ₂ O | TiO ₂ | PAF | total |
|------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------|------|-------------------|------------------|------|-------|
| Hor. | 40,88 | 20,03 | 15,15 | 0,55 | 0,27 | 0,41 | 0,19 | 0,93 | 20,4 | 98,81 |
| FA | n.d. | 27,21 | 13,73 | 0,72 | 0,74 | 0,15 | 0,22 | n.d. | 16,3 | |

Figure 8: Lame mince HTP (Bazarnes). Nombreux ferri-argilanes épais. La photo fait 2,5 mm de largeur.**Figure 8**: Thin section HTP (Bazarnes). Numerous thick ferri-argillans. The picture is 2,5 mm wide.**Figure 9**: Lame mince HTP (Bazarnes). Ferri-argilanes au contact d'un gravier de grès ferrugineux. La photo fait 2,5 mm de largeur.**Figure 9**: Thin section HTP (Bazarnes). Ferri-argillans on contact with a gravel of ferruginous sandstone. The picture is 2,5 mm wide.

ensemble (ligne Hor.) et sur la fraction < 2 µm séparée après avoir été saturée par du magnésium (ligne FA). En outre, dans la fraction < 2 µm le fer élémentaire total (extrait par HF) s'élève à 9,60 % et le fer « libre » vaut également 9,60 % ! Il n'y a donc plus de fer dans les réseaux cristallins des minéraux primaires ni dans ceux des minéraux secondaires.

La composition chimique de l'horizon a été projetée dans un diagramme 4Si – M⁺ – R²⁺ qui permet de visualiser les domaines des différents minéraux argileux (figure 11 – Meunier, 2005).

4Si: proportion molaire de SiO₂ / 4 (car formule silicates 4Si);
M⁺: proportions molaires de Na⁺ + K⁺ + Ca⁺⁺/2 (principaux cations interfoliaires);

R²⁺: proportions molaires de Mg⁺⁺ + Fe⁺⁺ (et autres cations bivalents si présents) constituant les principaux cations de la couche octaédrique des minéraux argileux.

La composition chimique de cinq minéraux a été également projetée dans ce même diagramme: kaolinite, muscovite, illite, montmorillonite et quartz.

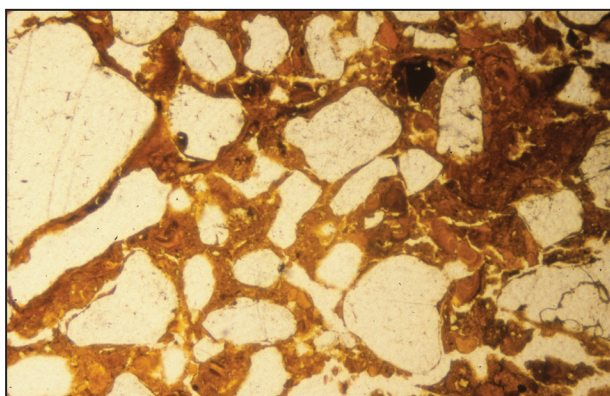
La valeur de 4Si de l'échantillon de sol est de 81 % ce qui indique une composition dominée par la kaolinite mais avec un mélange avec d'autres minéraux qui apportent K et Mg. Les sources de K peuvent être la muscovite et l'illite (figure 11 A) ou seulement l'illite (figure 11 B). Le Mg peut provenir de la montmorillonite (et des interstratifiés), voire d'une chlorite.

La composition de la fraction < 2 µm est difficile à interpréter en l'absence de la teneur en SiO₂. En outre des oxydes de fer très abondants sont probablement restés associés aux argiles, sans

faire partie de leur constitution. Par rapport à un horizon pris dans son ensemble, la fraction argileuse est censée concentrer les minéraux argileux « pédologiques » : la kaolinite et les autres phases argileuses (smectite et illite) porteuses de Mg et K responsables des valeurs de K_2O et MgO du *tableau 7 ligne FA*. Inversement, les fractions « limons » et « sables » vont plutôt concentrer illite/muscovite et quartz.

Figure 10: Lame mince HTP (Bazarnes). Grains de quartz et fond matriciel plus ou moins riche en fer. La photo fait 2,5 mm de largeur.

Figure 10: Thin section HTP (Bazarnes). Quartz grains and soil matrix more or less iron-rich. The picture is 2,5 mm wide.



Si on compare la composition de la fraction < 2 µm et celle de l'horizon pris dans son ensemble, on constate en effet une accumulation d' Al_2O_3 , de K_2O et surtout de MgO . Le CaO , lui, diminue nettement.

Cet échantillon est peut-être un cas extrême : il pourrait ne pas être représentatif de tous les sols issus des alluvions mio-pliocènes.

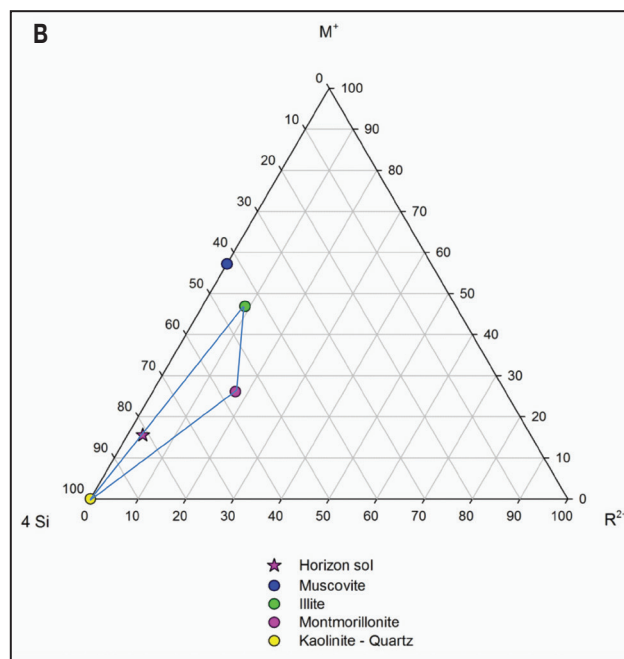
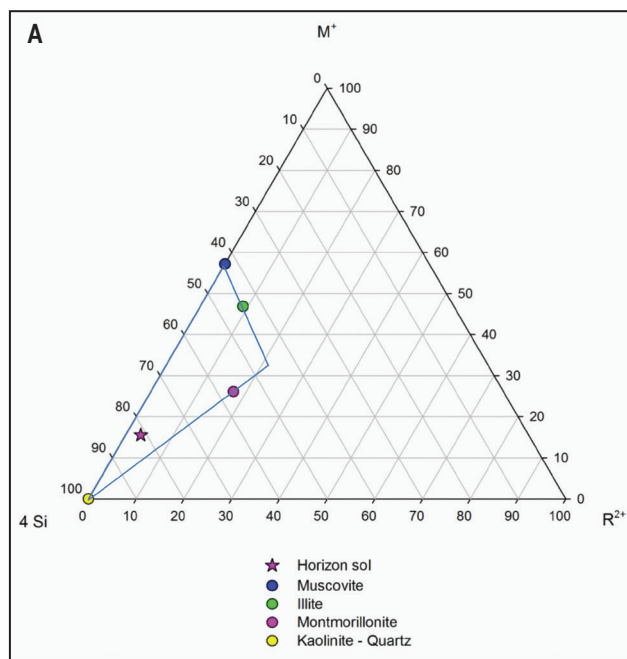
DISCUSSION

Confusions possibles

Malgré la grande proximité géographique à certains endroits et une certaine ressemblance morphologique, on ne doit pas confondre ces sols formés dans les alluvions très anciennes avec les sols acides développés dans les « argiles à chailles » (cf. Baize, 1991) qui s'étendent très largement à proximité, et surtout plus au sud aux alentours de Vézelay et en Bourgogne nivernaise, en liaison directe avec les calcaires à chailles de l'Oxfordien moyen. Ces derniers présentent eux-aussi en profondeur des couleurs vives orangé ou ocre-jaune et une forte dominance des argiles kaolinitiques mais ne contiennent pas de sables quartzeux ni de cailloux en provenance du Morvan. Leur autochtonie est avérée.

Figure 11 A et B: Composition de l'échantillon V. 5236 comparée à celle d'autres minéraux

Figure 11 A and B: Chemical composition of the sample V.5236 compared to that of other minerals.



Synthèse

Tous les minéraux altérables (calcite, micas, feldspaths, ferromagnésiens) présents initialement en provenance du bassin-versant amont semblent avoir été altérés. Ne subsistent que des éléments siliceux (grains de quartz; graviers de chailles, de Lias silicifié, de quartz de filon) et des débris de grès ferrugineux. La kaolinite domine le cortège des minéraux argileux. Les colorations sont vives, qu'elles soient orangées, rouges ou violacées. La totalité du fer est présente sous des formes « libres ».

Les sols que nous observons aujourd'hui seraient le résultat d'une pédogenèse de type tropicale correspondant tout à fait à ce que Pédro (1984) appelle « altération plasmogénique ». Ce même auteur précisait que « l'altération se traduit par l'apparition de minéraux nouveaux et caractéristiques (argiles) qui constituent le plasma du sol ... Dans les climats chauds et humides l'altération qui se développe sous l'action d'eaux plus ou moins chargées de CO₂ (hydrolyse) est intense, ce qui conduit à la destruction rapide des minéraux altérables et à la néoformation massive de minéraux secondaires (argiles et hydrates ferriques) ».

Après une première phase de « plasmogénèse », probablement très longue, s'est greffée une phase d'argilluviation entraînant une forte différenciation texturale entre les horizons de surface très appauvris en argile et les horizons argileux profonds. Ce « lessivage » des particules argileuses est attesté par l'existence de nombreux revêtements argileux et ferrugineux visibles aussi bien sur le terrain qu'en lames minces.

La dernière phase de l'évolution des paysages se manifeste principalement par la troncature plus ou moins importante de la partie supérieure des solums, surtout en bordure de plateaux, consécutive à l'enfoncement des rivières et à l'érosion régressive.

Une question doit être envisagée: l'altération intense et la plasmogénèse consécutive se sont-elles déroulées avant le transport ou après le dépôt des alluvions? Pour y répondre, nous disposons de deux arguments. D'abord, on voit mal un cours d'eau aussi torrentueux, capable de déplacer autant d'éléments grossiers (cailloux, pierres, blocs), déposer de telles quantités de fractions fines argileuses aussi près de leur lieu d'altération (moins d'une quinzaine de kilomètres). En outre, en examinant les lames minces, nous avons interprété certaines papules argileuses très pures comme des « fantômes de feldspaths » qui seraient l'indice d'une altération *in situ* des minéraux primaires, bien après leur transport.

Dans les années 1970, période où la WRB et le Référentiel pédologique n'existaient pas encore, la *Soil Taxonomy* a été introduite en Europe et a eu, temporairement, un certain succès. C'est pourquoi, confrontés à ces sols à très forte altération de tous les minéraux primaires, inhabituels sous nos climats, nous avons immédiatement pensé à des « ultisols ».

Les Ultisols

La définition la plus complète et la plus synthétique que nous ayons trouvée est celle de Wikipédia (en anglais): les Ultisols sont l'un des douze « ordres » de la *Soil Taxonomy*. Ils sont définis comme « des sols non organiques, totalement dépourvus de calcaire, ils ont moins de 10 % de minéraux altérables dans l'horizon le plus superficiel, et un taux de saturation inférieur à 35 % dans l'ensemble du solum. Les ultisols sont observés dans des régions à climat tempéré ou tropical. Dans la WRB (IUSS WRB, 2015), la plupart des ultisols sont désignés comme acrisols, les autres avec des argiles de plus haute activité sont classés en alisols ou nitisols². Leur nom est dérivé de "ultime" parce qu'ils étaient considérés comme le produit ultime de l'altération continue des minéraux sous climat tempéré humide ».

« Les ultisols montrent des couleurs variées: rouge-pourpre, orange rougeâtre vif, orange pâle tirant sur le jaune et même quelques tons brun-jaunâtre passés. Ce sont typiquement des sols très acides ayant souvent des pH inférieurs à 5. Les couleurs rouges et jaunes résultent de l'accumulation d'oxydes de fer

Les ultisols présentent une variété de minéraux argileux mais, dans de nombreux cas, le minéral dominant est la kaolinite .

Leur limite septentrionale (sauf sols fossiles) est très nettement définie en Amérique du Nord par la zone d'extension maximum des glaciations au cours du Pléistocène, car les ultisols demandent des centaines de milliers d'années pour se former—bien plus longtemps que la durée de la période interglaciaire actuelle ».

De nombreux articles, sans oublier la *Soil Taxonomy* elle-même, insistent sur le caractère fortement lessivé des ultisols et, en conséquence, sur la présence d'un **horizon argilique** (par exemple: Ségalen, 1970; Miller, 1983; West et al., 1997; Mathieu et Lozet, 2011).

Pour Ségalen (1973): « Du point de vue minéralogique, une caractéristique remarquable est le mélange de constituants tout à fait différents. Les hydroxydes de fer et d'alumine cristallisés y sont abondants. La kaolinite est le minéral argileux dominant. Mais, à côté de cette kaolinite, il est fréquent de trouver des minéraux à trois couches, comme l'illite, la montmorillonite et plus particulièrement la vermiculite trioctaédrique et la chlorite ou un interstratifié vermiculite-chlorite... Cet ensemble de caractéristiques, différentes de celles qui ont été retenues pour les oxisols, a justifié pour les pédologues américains la création de la classe des ultisols où existe un horizon argilique, mais également où le contenu minéralogique est assez différent de celui attribué aux oxisols ».

² Le seuil fixé par la WRB pour distinguer les Acrisols et les Alisols et Nitols est fixé à 24 cmol/kg d'argile.

Tableau 8: Les sols développés dans les formations alluviales mio-pliocènes répondent-ils positivement aux critères de reconnaissance des ultisols ?

Table 8: Do the soils developed in mio-pliocene alluvial deposits meet positively the requirements of ultisols ?

| Critère | |
|--|------------|
| Non organiques, dépourvus de calcaire | OUI |
| Appauvrissement superficiel en argile et en fer | OUI |
| Lessivage notable d'argile, avec ferriargilanes à moyenne profondeur | OUI |
| Moins de 10 % de minéraux altérables dans l'horizon le plus superficiel | Sans doute |
| Taux de saturation < 35 % dans tout le solum | OUI (*) |
| pH < 5 | OUI (*) |
| Abondance d'oxyhydroxydes de fer (goethite, hématite) | OUI |
| Couleurs (rouge-pourpre, orange rougeâtre vif, orange pâle, etc.) | OUI |
| Dominance de kaolinite | OUI |
| Argiles à faible activité (< 24 cmol+/kg d'argile) – la plupart du temps ? | OUI |
| Âge > plusieurs centaines de milliers d'années | OUI |

(*) Sous forêt : cf. fosse Bois de la Mardelle

Correspondances et justification

Le *tableau 8* montre que les sols développés dans ces formations mio-pliocènes répondent très bien aux critères de la *Soil Taxonomy* pour caractériser les Ultisols.

Il peut sembler étonnant d'observer des ultisols sous nos climats. Les principales causes de leur existence sont le très grand âge de ces alluvions et leur développement sous des climats beaucoup plus chauds et humides que l'actuel au cours du Pliocène (Berger, 2005 ; Météo-contact).

On notera cependant que, dans un autre contexte géographique, d'autres ultisols ont été décrits en France : ceux développés dans les plus hautes terrasses des « cailloutis rhodaniens », datées du Plio-Villafranchien (Bonnet et Bornand, 1970 ; Bornand, 1978).

Les ultisols des très hautes terrasses des cailloutis rhodaniens

Le matériau parental de ces dépôts est constitué de cailloutis fluvio-glaciaires originaires des Alpes, contenant des galets calcaires mais également des éléments de roches cristallines. Ces derniers sont la source principale de tous les produits d'altération résiduels, notamment des argiles. Dans sa thèse, Bornand (1978) a décrit 5 stades d'évolution pédologique qu'il a étudiés sur les diverses terrasses de la vallée moyenne du Rhône, datées du Würm (pour les plus basses) jusqu'au Villafranchien (pour les plus hautes).

Pour simplifier on peut distinguer deux phases successives de pédogenèse. La première, fersiallitique (rubéfaction), s'étend sur environ 700 000 ans. La deuxième s'étend sur 1 200 000 ans, c'est une phase dégradante et dérubiante (sols jaunes = luté-

faction). Cette deuxième phase « ultisolique » s'est développée aux dépens de sols déjà mûrs et profondément argilifiés. Elle a conduit aux sols jaunes de type Ultisols qui sont caractérisés par une dissociation des « liaisons fer – argile » et par des changements d'état des formes du fer.

La durée totale d'évolution des sols développés dans le dépôt villafranchien (stade d'évolution 5) a été estimée entre 1,8 et 2 millions d'années.

CONCLUSION

Ces sols du centre du département de l'Yonne, si particuliers, correspondent bien au concept étatsunien d'ultisols. Ils mériteraient une étude plus détaillée en ce qui concerne les états du fer, la nature fine des minéraux argileux, sans oublier des examens micromorphologiques et des micro-analyses à la recherche de « fantômes » de feldspaths totalement argilifiés.

REMERCIEMENTS

A Hervé Gaillard et Gérard Yart pour leur aide technique sur le terrain (cartographie et prélèvements) ;
à Christian Le Lay pour la confection des lames minces et son aide sur le terrain ;
à Laurent Caner (Université de Poitiers) pour son aide dans l'interprétation de la minéralogie des argiles.
à Sacha Desbourdes pour la préparation de la *figure 1*.

BIBLIOGRAPHIE

- Baize D., 1989 - Typologie des sols de l'Yonne. Les Plateaux de Bourgogne. INRA, Orléans, 154 p.
- Baize D., 1991 - Sols et formations superficielles sur calcaires durs dans le sud-est du Bassin Parisien. Première synthèse. *Science du Sol*, 29, pp. 265-287.
- Baize D., 1996 - Carte des sols de l'Yonne. Feuille Vermenton. Notice et carte à 1/50 000. Inra Orléans et I.D.E.A, Auxerre. 116 p.
- Baize D., 2010 - Teneurs totales en plomb en fonction de la profondeur dans les sols « naturels ». Colloque Florac septembre 2006. *Archéosciences*, 34. Presses Universitaires de Rennes. pp. 127-135
- Baize D. et Voilliot J.P., 1989 - La cartographie des sols de l'Yonne à 1/50 000. *Science du Sol*, 27 (1), pp. 25-28.
- Baize D. et Chrétien J., 1994 - Les couvertures pédologiques de la plate-forme sinémurienne en Bourgogne. Particularités morphologiques et pédogéochimiques. *Étude et Gestion des Sols*, 1, 2, pp. 7-27.
- Benoit-Janin P., 1964 - Étude pédologique de la commune d'Asquins (Yonne). SAFE, Chaumont, Carte à 1/10.000 et notice de 40 pages.
- Berger A., 2005 - Le climat et ses variations depuis l'origine de la terre: une composante à l'évolution de la vie. *In: L'environnement de la terre primitive*, sous la direction de M. Gargaud, D. Despois et J.-P. Parisot. Presses universitaires de Bordeaux, 2^e édition. 656 p.
- Bonnet A. et Bornand M., 1970 - Pédologie et Quaternaire dans la vallée du Rhône moyen. *Bulletin de l'Association Française pour l'Étude du Quaternaire*, vol. 7, 2-3, pp. 105-116.
- Bornand M., 1978 - Altération des matériaux fluvioglaciers, genèse et évolution des sols sur terrasses quaternaires dans la moyenne vallée du Rhône. Thèse, Université de Montpellier 2, 329 p.
- Collenot J.J., 1871 - Description géologique de l'Auxois (suite): Périodes tertiaire, quaternaire et moderne. *Bulletin de la société des sciences historiques et naturelles de Semur*. Semur, pp. 15-222.
- Deb B.-C., 1950 - The estimation of free iron oxides in soils and clays and their removal. *J. Soil Sci.*, 1, 2, pp. 212-220.
- Duigou N. et Baize D., 2010 - Nouvelle collecte nationale d'analyses d'éléments en traces dans les sols (horizons de surface) - (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn). Rapport final. Contrat ADEME 0875C0036. 284 p.
- Horon O., Caillière S., Prouvost J., Kraut F., Mouterde R. et Joly C., 1964 - Carte géologique à 1/80 000 feuille Avallon. 3^e édition. BRGM.
- Horon O., Mégnier Cl. et Lefavrais-Raymond A., 1966 - Carte géologique au 1/50 000 – Feuille Avallon. BRGM.
- IUSS Working Group WRB, 2015. Base de référence mondiale pour les ressources en sols 2014. Mise à jour 2015. Système international de classification des sols pour nommer les sols et élaborer des légendes de cartes pédologiques. Rapport sur les ressources en sols du monde N° 106. FAO, Rome.
- Lemoine P., 1908 - Sur les différents niveaux d'alluvions au confluent de l'Yonne et de la Cure. C.R. des séances de l'Académie des Sciences CXL1, séance du 25 mai 1908, pp.1122-1125.
- Mathieu C. et Lozet J., 2011 - Dictionnaire encyclopédique de science du sol. Tec et Doc, Lavoisier. 733 p.
- Mégnier F. et Mégnier C., 1971 - Carte géologique à 1/50 000, feuille Vermenton - BRGM.
- Meunier A., 2005 - Clays. Springer-Verlag, Berlin. 472 p.
- Miller B.J., 1983 - Chapter 8 Ultisols. *In: Pedogenesis and soil taxonomy*. II. The soils orders. L.P. Wilding, N.E. Smeck and G.F. Hall (edit.). *Developments in Soil Science*, Vol. 11, Part B, pp. 283-323.
- Pédro G., 1984 - La genèse des argiles pédologiques. Ses implications minéralogiques, physico-chimiques et hydriques. *Sciences Géologiques*, Bull. 37-4, pp. 333-347.
- Raulin V. et Leymerie A., 1858 - Statistique géologique du département de l'Yonne. Perriquet et Rouillé, Auxerre. 863 p.
- Ségalen P., 1970 - Chap. VI - La classification des sols. pp. 115-133. *In: Pédologie et développement*. Orstom.
- Ségalen P., 1973 - L'aluminium dans les sols. *Initiations – Documents techniques* n° 22. Orstom, Paris, 281 p.
- West L.T., Beinroth F.H., Sumner M.E., and Kang B.T., 1997 - Ultisols: characteristics and impacts on Society. *Advances in Agronomy*, Vol. 63, pp. 179-236.
- <https://www.meteocontact.fr/actualite/l-europe-il-y-a-5-millions-d-annees-un-climat-chaud-et-humide-74979>

Annexe n° 1

FOSSE BOIS DE LA MARDELLE

Prélèvements et descriptions de juillet 1984 + Prélèvements de 1994

Plateau – replat sommital – pente nulle

Coordonnées Lambert: X = 706,50 Y = 2284,62 Altitude: 220 m

Végétation: Taillis sous futaie d'aspect médiocre

Strate arborescente: *Quercus sessiliflora* (3), *Betula pendula* (1), *Populus tremula* (+), *Carpinus betulus* (+)Strate arbustive: *Lonicera periclymenum* (1), *Rubus fruticosus* (+)Strate herbacée: *Deschampsia flexuosa* (3-4), *Pteridium aquilinum* (3-4), *Hedera helix* (2-2), *Lonicera periclymenum* (1), *Teucrium scorodonia* (1), *Lathyrus montanus* (+), *Luzula pilosa* (+)

Matériau parental: Alluvions mio-pliocènes d'un très ancien cours d'eau.

Description succincte:

| | |
|----------------|---|
| | Litière épaisse, moder |
| 0 à 3/5 cm | violacé (10 YR 6/2); grumeleux, graviers de chailles |
| 3/5 à 35/40 cm | limono-sableux, beige-ocre (2,5 Y 7/4); gravillons de quartz et graviers de chailles; structure polyédrique émousée bien développée de 5-40 mm, friable |
| 35/40 à 50 cm | horizon de transition, argilo-limoneux, beige et orangé |
| 50 à 100 cm | argileux; tricolore: 40 % d'orangé (7,5 YR 5/8), 25 % de veines jaune clair (2,5 Y 8/4) et 25 % de rouge (5 YR 4/8); gravillons de quartz + graviers et quelques cailloux de chailles; structure polyédrique anguleuse bien développée de 30 mm; nombreux revêtements argileux rougeâtres sur faces d'agrégats, graviers et cailloux. |

Commentaires additionnels:

Racines encore nombreuses jusqu'à 40 cm, encore présentes mais peu nombreuses au-delà.

Pas de contraintes apparentes pour les arbres.

Pas de traces d'hydromorphie.

Tous les éléments grossiers sont siliceux.

| Profondeur en cm | GRANULOMÉTRIE en % de la terre fine | | | | | EG |
|---------------------|-------------------------------------|---------------|----------------|-----------------|----------------|-------------|
| | A 0-2 µm | LF 2-20 µm | LG 20-50 µm | SF 50-200 µm | SG 0,2-2 mm | > 2 mm % |
| 0-5 | 19,6 | 33,2 | 22,9 | 9,6 | 14,7 | n.d. |
| 5-35 | 15,6 | 31,6 | 20,8 | 9,2 | 22,8 | 24 |
| 35-45 | 28,6 | 27,3 | 16,8 | 7,9 | 19,4 | 36 |
| 45-78 | 60,9 | 14,3 | 9,5 | 5,7 | 9,6 | 9 |
| 78-100 | 62,0 | 11,2 | 8,7 | 6,8 | 11,3 | 18 |

A = argile; LF = limons fins; LG = limons grossiers; SF = sables fins; SG = sables grossiers

| Carbone % | Rapport C/N | pH eau | pH KCl |
|--------------|----------------|-----------|-----------|
| 7,72 | 21,4 | 4,0 | 3,2 |
| 1,11 | - | 4,6 | 3,9 |
| 0,26 | - | 4,8 | 3,8 |
| 0,24 | - | 4,9 | 3,7 |
| 0,17 | - | 5,0 | 3,7 |

EG = éléments grossiers: graviers uniquement

| Profondeur en cm | COMPLEXE ADSORBANT en mé/100 g | | | | | | | FER | | | ALUMINIUM | | | | |
|---------------------|--------------------------------|------------------|------------------|----------------|-----------------|-------------------|------------|---------------------|-------|-------|-----------|-------|--------|---------------|---|
| | CEC | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | Al ⁺⁺⁺ | S/CEC % | H ⁺ % | Total | Libre | Deb | Total | Libre | Tamm/ HF % | |
| | | | | | | | | | HF % | Deb % | HF | HF % | Tamm % | HF % | |
| 0-5 | 13,3 | 0,80 | 0,52 | 0,428 | 0,044 | - | 13 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 5-35 | 3,4 | 0,00 | 0,06 | 0,042 | 0,024 | 1,9 | 4 | 40 | 1,40 | 1,18 | 0,84 | 2,40 | 0,18 | 7,5 | |
| 35-45 | 5,5 | 0,20 | 0,66 | 0,049 | 0,022 | 3,2 | 17 | 25 | 2,50 | 2,02 | 0,81 | 4,16 | 0,28 | 6,7 | |
| 45-78 | 12,7 | 1,50 | 1,74 | 0,111 | 0,042 | 3,2 | 27 | 48 | 4,63 | 3,76 | 0,81 | 8,58 | 0,51 | 5,9 | |
| 78-100 | 13,3 | 2,70 | 1,58 | 0,107 | 0,065 | 8,5 | 33 | 3 | 3,86 | 3,05 | 0,79 | 8,92 | 0,41 | 4,6 | |

S = somme des 4 cations alcalins et alcalino-terreux échangeables.

CEC (capacité d'échange cationique) déterminée par la méthode Metson, tamponnée à pH 7,0

H⁺ estimé par CEC - (S+Al³⁺)

Commentaires sur les résultats des analyses

Granulométrie : grand contraste entre des horizons supérieurs limono-sableux et des horizons profonds argileux lourds, transition par un horizon de granulométrie intermédiaire.

pH eau : grande acidité dans tous les horizons, à mettre en relation avec le taux de saturation du complexe adsorbant très faible et l'acidité d'échange (Al³⁺, H⁺) très élevée.

CEC et cations échangeables : la capacité d'échange cationique est faible dans les horizons profonds argileux, par rapport au taux d'argile élevé. Ceci traduit la dominance des argiles de type kaolinites, à faible CEC.

Acidité d'échange (Al⁺⁺⁺ et H⁺) : abondance des ions aluminium échangeables et des protons = grande acidité d'origine minérale (non liée aux matières organiques).

Fer : la quasi-totalité du fer est sous la forme d'oxydes « libres ». Ce serait le résultat d'une pédogenèse de type tropicale. Il n'y a pratiquement plus de minéraux primaires altérables (tous sont déjà altérés).

Annexe n° 2

FOSSE BOIS D'ARCY (V. 5386)

Prélèvements et descriptions de 1986 – Programme SOLAR

Plateau plaine – milieu de pente longue et faible

Coordonnées Lambert: X = 703,75 Y = 2284,09 Altitude: 204 m

Végétation: cultures

Matériau parental: Alluvions mio-pliocènes d'un très ancien cours d'eau.

Description succincte:

| | |
|---------------|---|
| 0 à 25 cm | gris (10 YR 4,5/4); limono-sableux; très nombreux graviers de chailles et gravillons de quartz |
| 25 à 55/60 cm | 70 % d'orangé (7,5 YR 5/8), 20 % de rouge (2,5 YR 4/4) et 10 % de brunâtre; argileux; structure polyédrique anguleuse 10-30 mm bien développée; quelques revêtements argileux rougeâtres sur faces d'agrégats |
| 55/60 à 80 cm | 50 % d'orangé (7,5 YR 5/8), 30 % de rouge (2,5 YR 4/4) et 20 % de beige-brun (10 YR 5/6); argileux; structure polyédrique anguleuse 20-30 mm bien développée; caoutchouteux |
| 80 à 120 cm | 40 % d'orangé (7,5 YR 5/8), 30 % de rouge (2,5 YR 4/4) et 30 % de gris-clair (5Y 7/1); argileux; de structure assez grossière à tendance prismatique; caoutchouteux |

Commentaires additionnels:

Nombreuses racines vivantes et mortes dans trous de lombrics verticaux entre 25 et 60 cm; peu nombreuses sur faces verticales d'agrégats au-delà.

| Profondeur en cm | GRANULOMÉTRIE en % de la terre fine | | | | | EG |
|---------------------|-------------------------------------|---------------|----------------|-----------------|----------------|-------------|
| | A 0-2 µm | LF 2-20 µm | LG 20-50 µm | SF 50-200 µm | SG 0,2-2 mm | > 2 mm % |
| 0-25 | 16,5 | 25,4 | 19,0 | 10,5 | 28,6 | 29,2 |
| 25-55 | 49,4 | 23,4 | 10,4 | 7,7 | 9,1 | 3,2 |
| 55-75 | 56,3 | 14,6 | 8,1 | 12,0 | 9,0 | 0,7 |
| 100-110 | 54,8 | 20,6 | 8,5 | 10,6 | 5,5 | 0,3 |

| Carbone % | pH eau | Humidité résid. % |
|--------------|--------|-------------------------|
| 1,222200,36 | 6,6 | 2,5 |
| 0,36 | 6,6 | 3,4 |
| 0,22 | 6,1 | 2,7 |
| 0,15 | 5,4 | 1,4 |

A = argile; LF = limons fins; LG = limons grossiers; SF = sables fins; SG = sables grossiers

EG = éléments grossiers: graviers uniquement

| Profondeur en cm | COMPLEXE ADSORBANT en mé/100 g | | | | | K | total HF % | FER | | | CEC argile |
|---------------------|--------------------------------|------------------|------------------|----------------|-----------------|------------|---------------|---------------|----------------|-------------------|-----------------|
| | CEC | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | S/CEC % | | Total HF % | Libre Deb % | Rapport Deb/HF | mé/100 g (1) |
| 0-25 | 6,1 | | | | | | 0,56 | 2,10 | 1,91 | 0,91 | 12 |
| 25-55 | 10,8 | | | | | | 0,67 | 3,75 | 2,91 | 0,78 | 20 |
| 55-75 | 10,8 | | | | | | 0,59 | 4,43 | 3,51 | 0,79 | 18 |
| 100-110 | 12,2 | | | | | | 0,62 | 2,97 | 2,10 | 0,71 | 22 |

S = somme des 4 cations alcalins et alcalino-terreux échangeables.

CEC (capacité d'échange cationique) déterminée par la méthode Metson, tamponnée à pH 7,0

(1) Estimation après correction des matières organiques

