Accumulations argileuses profondes dans le substrat sableux d'une formation carbonatée en forêt d'Ermenonville

M. Lamouroux, G. Bellier, F.-X. Humbel,
ORSTOM-Bondy

RÉSUMÉ

Sur le site étudié, à 40 km au nord de Paris, le Marinésien est une formation carbonatée peu épaisse présentant à sa base (localement) des lits détritiques et qui est recouverte de sables soufflés. Elle repose sur l'épaisse formation des sables de Beauchamp. Or, on observe à la partie supérieure de ces derniers différentes évolutions pédologiques en relation possible avec la dégradation de la formation carbonatée sus-jacente. C'est le cas notamment d'accumulations argileuses qui évoquent des processus de néoformation ou d'illuviation, associés ou distincts, selon les conditions locales.

On observe même, sous la limite des calcaires, en bordure d'une doline maintenant ouverte en tête de talweg, un important corps argileux dont on montre la nature complexe. Un horizon de soutirage est associé à cette formation.

Une **analyse structurale** détaillée du site a été effectuée pour préciser la géométrie et la nature de ses différentes composantes ; elle fournit des éléments essentiels à prendre en compte pour discuter de l'origine pédologique ou sédimentaire des traits observés.

Mots-clés : Sédiment carbonaté, substrat sableux, minéralogie, accumulations argileuses profondes, lessivage soutirant, analyse structurale, Bassin parisien, Marinésien.

ABSTRACT

In the site under study situated 25 miles north of Paris, the "Marinesian" is a thin calcareous formation covered with windblown sands and resting upon a thick sandy substratum.The upper part of the latter displays different pedological evolutions which can be related to the degradation of the overlying calcareous formation. Such is the case mainly of clay accumulations which represent associated or different neoformation or illuviation processes according to the local conditions.

On the side of an ancient doline, a significant clay formation whose complex nature is shown is also observed below the edge of the outcrop of the calcareous formation. A lateral eluvial horizon is associated with this accumulation. A detailed structural analysis of the site, which specifies the geometrical arrangement and the nature of its different components provides data which are necessary to discuss the pedological or sedimentary origin of the features observed.

Key-words : Calcareous sediment, sandy substratum, mineralogy clayey formation, deep pedological structures, illuviation, neoformation, lateral leached horizon.

INTRODUCTION

Il est montré dans un article du même ouvrage (LAMOUROUX *et al.*, 1990) que des structures appelées "puits" ouvrent le passage vers la profondeur aux produits d'altération d'une formation carbonatée intercalée entre un substrat sableux épais et un recouvrement sableux podzolisé. Ces structures de dimensions variées sont de type karstique. Elles entraînent la disparition de la formation carbonatée sur des surfaces de plus en plus larges et marquées par l'hydromorphie. Chacune présente, du bord vers l'intérieur un degré d'acidification croissant. Le drainage de dolines par recul des têtes de talweg, entraîne la disparition de ces structures et la généralisation de la podzolisation.

Mais cette évolution laisse des traces importantes dans le substrat poreux sous-jacent, sous forme d'accumulations de natures diverses : silice, argiles, fer, manganèse etc. Cet article présente les différentes formes d'accumulations argileuses observées dans ce substrat. On discutera aussi de l'origine d'un ensemble d'horizons argileux profonds, observé localement sous la bordure des formations carbonatées.

1. CONTEXTE SÉDIMENTAIRE ET GÉOMORPHOLOGIQUE

Le site étudié est à 40 km au nord-est de Paris sur le **plateau** de la forêt d'Ermenonville, autour d'une tête de talweg correspondant à une ancienne doline (cf. 1er article). Ce plateau, taillé dans le substrat des **sables de Beauchamp (Auversien),** est armé par la formation marinésienne du **marno-calcaire de St-Ouen,** et localement par des silcrètes (THIRY, 1988). Sous le marno-calcaire et dans la partie nord seulement du plateau, s'observe un niveau vert de sables coquilliers surmontant des lits verdâtres alternés de sables, d'argiles et de carbonates. La base de cette formation (Mortefontaine) est marquée par un niveau vert argileux de 10 à 15 cm, plus ou moins calcaire.

La figure 1 présente une coupe schématique de ces formations, qui ont été remaniées au Quaternaire par cryoturbation et gélifluxion.

La figure 2 indique, dans le secteur considéré, les différents profils cités ainsi que les contours de deux formations : le marno-calcaire et l'ensemble **argileux profond** (EAP). Les sables qui les séparent sont appelés **"ensemble intermédiaire"** .

2. PREMIERS INDICES D'ACCUMULATION D'ARGILE EN PROFONDEUR

Au-dessous du marno-calcaire épais

Dans le profil g6, le marno-calcaire de St-Ouen est épais et peu altéré : la base des couches marinésiennes est à la profondeur de 4 à 6 m. Cependant, le substrat sableux sous-jacent est concerné par la pédogénèse actuelle : de l'humidité et des radicelles y sont présentes et on observe sur plusieurs décimètres un léger enrichissement en argile, en manganèse, en carbonates secondaires, en silice (petits silcrètes), avec partout des produits organiques violacés. Compte tenu des conditions supposées (lenteur des flux verticaux), ces traits évoquent plutôt des néosynthèses que des illuviations, mais leur origine reste à confirmer.

Sous un puits d'altération

Au niveau de la fosse f12 (figure 3), la formation carbonatée est peu épaisse, ce qui est souvent le cas sur la bordure des affleurements et correspond à la multiplication des structures en puits..

On y observe, au-dessous de 3 m de profondeur, des petits îlots milli- à centimétriques d'argile verte, allongés verticalement. Leur étude en microscopie montre des vides remplis ou en partie remplis d'un plasma vert non biréfringent. L'analyse par diffraction de rayons X indique qu'il s'agit d'une smectite riche en magnésium. La composition est la suivante (moyenne de 20 mesures à la microsonde, en %) : SiO_2 : 63 ; Al_2O_3 : 19 (rapport SiO_2/Al_2O_3 : 5,6) ; MgO : 4,0 ; K_2O : 4,0 ; CaO : 2,3 ; Fe_2O_3 : 5,9.

Autour des ilôts, on observe des halos organiques, et plus profondément de très nombreux volumes plasmiques organo-minéraux brun rouge foncé de composition variable : argiles, fer, aluminium. Compte tenu de l'apport de silice par le puits, dans lequel on observe de l'opale en épigénie de coquilles, les conditions alcalines régnant autour des îlots verts argileux sont favorables à la néoformation de smectites dérivant des complexes organo-minéraux.

Sous la frange de gélifluxion

La figure 1 montre que cette frange est formée de blocs de marno-calcaire altéré, entourés d'argiles de décarbonatation, et qu'elle est percée de nombreux puits. Ces puits à contenu acide concentrent les eaux superficielles qui évitent alors la traversée des couches carbonatées. Les conditions hydrodynamiques d'un lessivage peuvent être réalisées.

Le profil g26 (figures 4 et 5) montre, entre 2,9 et 3,6 m de profondeur, des accumulations diverses dont certaines présentent des cutanes biréfringents évoquant une illuviation.

Les sédiments carbonatés sus-jacents contiennent de la sépiolite et de la palygorskite. Au-dessous, la cristallinité de ces argiles diminue de haut en bas (hauteur décroissante du pic principal) : la palygorskite disparaît la première, puis la sépiolite qui fait place à une smectite (échantillons 1 à 5).

La progressivité de ces variations verticales et la forme en ilôts des volumes smectitiques sont en faveur d'une destruction ou d'une transformation des argiles fibreuses au profit de la formation de smectite. On remarque (figures 1 et 2) que le profil g26 est situé en amont de la limite de la formation argileuse EAP.

En conclusion, le substrat sableux contient, au contact de la formation carbonatée, des accumulations d'argile diffuses ou en îlots. Ces argiles évoquent selon les cas, soit des néosynthèses, soit de l'illuviation, à partir de produits apportés par des solutions qui ont traversé la formation carbonatée, ou qui se sont infiltrées plus localement et plus massivement à la faveur de puits. Ceux-ci interviennent d'une part en concentrant les flux et en facilitant leur filtration, d'autre part en fournissant en abondance des complexes organo-minéraux issus du podzol superficiel.

3. HORIZONS ÉLUVIÉS OU ILLUVIÉS, DISCONTINUS PUIS CONTINUS

Veines sous le niveau sablo-argileux sédimentaire

La fosse r46 (figure 6) présente un puits qui traverse la formation carbonatée altérée jusqu'aux sables verts lités dans lesquels s'étale la matière organique.

On observe dans les sables verts lités au droit du puits et au-dessus d'un horizon argileux carbonaté, base de la sédimentation, plusieurs veines argi-

leuses vertes, épaisses d'un centimètre environ. Ces veines présentent en lame mince un plasma opaque, organo-minéral. Les vides du sable situé entre les veines contiennent de nombreux argilanes (plasma biréfringent). Plus profondément, on observe encore quelques glosses argileuses également biréfringentes et d'abondantes imprégnations de matière organique. Ces glosses atteignent l'EAP.

Il semble donc qu'il se produise sous ce puits une illuviation à partir des argiles sédimentaires. Cette accumulation se présente, en veines centimétriques ou en glosses. L'argile de couleur vert vif peut provenir des sables verts lités (qui contient de nombreux lits argileux). Les produits organiques interviennent dans la mobilisation et la réorganisation de ces argiles.

Raies de lessivage sous les argiles de décarbonatation

Sur la séquence alpha, là où la formation carbonatée a été entièrement dissoute laissant un résidu d'argiles de décarbonatation lui-même discontinu, J.L. Rajot (1988) a décrit, sous les horizons argilo-sableux résiduels, d'autres marques de lessivage profond : il s'agit d'une série de raies d'éluviation, rebroussées vers les horizons sus-jacents cryoturbés, et séparées par des bandes sablo-argileuses sub-horizontales. L'étude de ces bandes indique qu'elles sont constituées des mêmes argiles que les horizons de décarbonatation et qu'elles forment des revêtements fortement biréfringents.

Il y a donc là illuviation, aux dépens des argiles résiduelles, les horizons illuviés étant séparés par des raies de sable blanc. Le pH actuel du milieu affecté par ce processus est voisin de 5,5. La présence en profondeur d'une dalle de silcrète est à prendre en compte pour comprendre la géométrie du réseau d'horizons éluviés. On a là une première manifestation du processus de soutirage, qu'on décrira au sud-ouest du site, où il est mieux exprimé.

Conclusion

Il paraît se produire, dans le milieu étudié, des illuviations à partir d'argiles de décarbonatation et à partir d'argiles sédimentaires. Ce processus est associé sur le site étudié à des néoformations alimentées par des produits de dissolution des mêmes argiles. Il est difficile de dissocier ces deux processus (néoformation et illuviation) et ces deux origines des produits (argiles résiduelles et argiles sédimentaires). Par ailleurs les produits entraînés peuvent atteindre l'EAP, et avoir contribué à sa formation.

Individualisation d'un horizon éluvié par soutirage

La fosse v1 7 (figure 7) montre, sous l'horizon argileux vert basal de l'ensemble carbonaté, l'apparition d'un horizon sableux blanc.

Cet horizon se développe dans l'ensemble intermédiaire (cf. figure 2) qui est sableux un peu argileux, et de couleur jaune. L'horizon blanc débute

d'abord sous forme de poches non communicantes (dans le plan de la coupe), au droit de puits traversant l'ensemble carbonaté (figure 7), puis sous forme de biseau. Celui-ci s'épaissit ensuite vers le nord-est jusqu'à occuper presque tout l'ensemble intermédiaire (figure 8). L'analyse granulométrique (figure 9) indique qu'il a perdu la presque totalité des particules de diamètre inférieur à 50 µ.

La figure 10 situe les écoulements internes observés en hiver : il se produit, dans la zone ouest, une surcharge en eau, amenée par les nombreux puits. Cette eau s'accumule alentour dans les sables verts ou pénètre directement dans l'ensemble intermédiaire. À saturation, l'eau des sables verts rejoint à son tour par vidange gravitaire l'ensemble intermédiaire (lessivage soutirant). Ces eaux se déplacent ensuite vers le nord-est, en surface de l'EAP où elles s'accumulent partiellement. Le moment est donc venu de décrire cette formation profonde.

4 - L'ENSEMBLE ARGILEUX PROFOND (EAP)

Description

La figure 11 le présente en bloc-diagramme.

Il a la forme d'une lentille déformée, de longueur 200 m, de largeur 30 à 100 m, d'épaisseur maximale 1 m. Sa superficie est d'un hectare environ et le volume d'argile qu'il contient est de l'ordre de 3 000 m^3. Sa texture est argileuse à sablo-argileuse. Il est isolé dans l'encaissant sableux entre les sables de Beauchamp et l'ensemble intermédiaire (figure 10) dans lequel se développe l'horizon lessivé soutirant. Mais surtout, ce corps argileux est situé à l'aplomb de la limite des sédiments carbonatés (figure 1). Il déborde cette limite sur 15 à 20 m de largeur, zone qui correspond à la frange de gélifluxion.

Ses limites latérales sont de trois types :

- à l'aval, côté talweg, limite (concave) de destruction en cours par des produits organiques issus du podzol de surface ;
- à l'amont, sous la formation carbonatée, limite diffuse (convexe) : il remonte jusqu'à rejoindre cette formation. Il est nettement moins argileux, comme on l'a décrit en g26 ;
- sur les côtés, à l'aplomb de la formation carbonatée, limite profonde, en forme de biseau.

La géométrie de l'EAP est visible sur la figure 11 :

- au toit, une goulotte centrale, orientée d'ouest en est (pente 1 à 3 %).
- au mur, un bombement vers le bas en deux endroits atteignant la cote 0,75 m (le zéro est au débouché de la doline), dans la direction de deux petits talwegs menant aux silcrètes S3 à l'ouest, le bombement vers le haut

de ce corps qui atteint la cote de 3 m avant de plonger à nouveau jusqu'à la cote 1,5 m en direction d'un petit talweg et du silcrète S4 (cf. figure 1).

L'écoulement des eaux est influencé par ces formes : la goulotte centrale amène les eaux d'ouest en est à travers l'horizon lessivé soutirant. Ces eaux s'accumulent en nappe perchée près de la fosse r47. Elles apportent des produits organiques qui se déposent sur l'EAP. Elles semblent également s'être infiltrées dans celui-ci et l'avoir enrichi en argile. Leur trop-plein déborde au-delà du corps argileux, divisé en flux divergents (figure 10).

L'EAP est très humide et E. PETERSCHMITT (1987) a décrit dans les sables sous-jacents (passage progressif) des îlots verts smectitiques de taille millimétrique : il y a donc des traces possibles d'un approfondissement de l'EAP.

Composition

Dans cet ensemble à dominante argileuse on peut distinguer plusieurs horizons par la couleur, la texture et la composition. Les figures 12 et 13 présentent les résultats obtenus en v17 par diffraction de rayons X, à savoir de haut en bas la succession suivante :

- dans l'ensemble carbonaté (en amont de v17, disparu ici) : Illite + Palygorskite + Sépiolite.
- dans les horizons issus des transformations de l'ensemble carbonaté (1 et 2) : Illite + Palygorskite.
- dans l'ensemble intermédiaire : essentiellement Sépiolite très bien cristalisée.
- dans l'ensemble argileux profond : Sépiolite de plus en plus dégradée, puis à la base Smectite associée à un peu de Kaolinite.

On retrouve ici la succession minéralogique obtenue en profondeur sous la formation carbonatée épaisse du profil g26 (figures 3 et 4), sauf en ce qui concerne la kaolinite basale.

Origine

Une telle formation argileuse a été observée également sur le versant nord-est du plateau, de l'autre côté de la ligne de partage des eaux, dans le bassin versant symétrique. Là aussi elle apparaît à l'aplomb de l'ensemble carbonaté. Elle n'a pas été observée ailleurs. Deux origines peuvent être envisagées, et se combiner : une origine sédimentaire et une origine pédogénétique.

Les arguments en faveur d'une origine sédimentaire sont :

- présence à cet endroit seulement des sédiments détritiques coquilliers et vert-lités qui pourraient marquer un ancien chenal lors du retrait de la mer à la fin de l'Auversien.
- pendage de l'EAP presque conforme à celui des sédiments.

- nombreuses variations verticales de couleur, texture, et de nature minéralogique des argiles au sein de l'EAP.

Les arguments en faveur d'une origine pédogénétique amènent à relier la formation de l'EAP à la dissolution des carbonates avec illuviation ou néosynthèse d'argile au-dessous. Mais que représente cette accumulation d'argile, compte tenu de la teneur en résidus du sédiment carbonaté et de son épaisseur : 3 000 m^3 d'argile correspondent à 10 000 m^3 de marno-calcaire donc, rapportés à la superficie de l'EAP, à environ 1 m de sédiment. Celui-ci ayant au départ de 2 à 4 m d'épaisseur et les apports d'argile pouvant être également latéraux, l'accumulation ne représente à peu près qu'un dizième des quantités d'argile susceptibles d'avoir été apportées ou néoformées. L'attention doit donc être portée plutôt sur les possibilités d'accumulation dans le milieu d'accueil.

Les données géométriques et pédologiques présentées ci-dessus fournissent une argumentation pour une formation de l'EAP par des processus pédogénétiques anciens (PETERSCHMITT, 1987) et localement encore actifs :

- à l'ouest, l'EAP, de plus en plus sableux, "remonte" vers la base de la formation carbonatée, qu'il rejoint en biseau : les accumulations décrites à la base de la fosse g26 représentent alors le stade initial de formation de l'EAP, et celle-ci est encore active à cet endroit ;
- à l'est, l'EAP est à son maximum d'épaisseur, de complexité et de teneur en argile (noyau central). Il est situé entre les cotes 1 et 2 m, en légère pente vers la tête de talweg.

Cette position suggère une mise en place par fluctuation d'une nappe : il ne peut s'agir que d'une nappe ancienne associée à une étape de l'enfoncement de la doline qui forme maintenant la tête du talweg. D'autres témoins de l'action de nappes anciennes associées à l'approfondissement puis à l'ouverture de la doline sont visibles : ce sont les silcrètes étagés (S1 à S4, cf. figure 1). De même, les nombreux litages fins et horizontaux observés dans l'EAP ou au-dessus des silcrètes témoignent d'une action de nappe. On observe en effet habituellement de tels litages dans les horizons gorgés d'eau (base des horizons argileux de l'ouvala p - LAMOUROUX *et al.*, 1990).

La succession des espèces minérales, identique en g26 (stade initial) et en v17 (stade évolué), est en faveur d'une origine commune, pédologique comme l'est manifestement le stade initial. Seule la kaolinite basale de v17 les distingue, mais celle-ci peut provenir d'une dégradation ultérieure des smectites sus-jacentes. Quant aux variations verticales vues au sein de l'EAP, il faut préciser qu'elles diffèrent aussi d'un point à l'autre de celui-ci et n'évoquent pas alors des strates sédimentaires.

L'hypothèse d'une origine pédogénétique suppose :

- à la base et d'abord, néoformation de smectites *in situ*, aux cotes 1 à 2 m, dans une frange de battement de nappe de la doline initiale. Cette néoformation s'est produite en conditions alcalines, dans un milieu sableux très poreux, alimenté en ions par l'altération de la formation carbonatée sus-jacente. Actuellement en j17 (figure 1) l'EAP contient 20 à 30 % de $CaC0_3$ avec un pH de 8,5 et les sables quartzeux y sont fortement corrodés, ces argiles sont des smectites essentiellement, associées à des sépiolites dégradées ;
- au-dessus, illuviation d'argiles de décarbonatation, qui se transforment progressivement en smectites, les palygorskites se détruisant plus rapidement que les sépiolites. Le lessivage affecte aussi les argiles sédimentaires de la base de la formation carbonatée.

Parallèlement et ultérieurement, après dépôt des sables soufflés notamment, des matières organiques envahissent le milieu : elles s'accumulent ou concourent à la destruction de l'EAP. Cette destruction en milieu très acide (podzolisation) est observable actuellement sur le bord aval à quelques décimètres de profondeur seulement. Néanmoins, l'alimentation de l'EAP par néosynthèse (sous formation carbonatée ou par les puits) et illuviation (en bordure, après décarbonatation) se poursuit à l'amont du versant. La morphologie des biseaux amont et aval rend compte de cette opposition. Des accumulations argileuses profondes sous couverture calcaire ont été décrites également au Maroc par DRISS-FASSI *et al.*, 1988.

CONCLUSION

Le substrat de sables quartzeux reçoit des produits issus de la dégradation des niveaux carbonatés et argileux sus-jacents :

- là où ces niveaux sont épais et peu altérés, les produits sont amenés en petites quantités par des solutions qui traversent ces niveaux, et le processus de néoformation paraît actuel (présence d'eau et de radicelles) ;
- sur sa bordure gélifluée, la formation carbonatée est traversée de puits qui favorisent le processus d'illuviation aux dépens des argiles sédimentaires et des argiles résiduelles.

Ces puits concentrent les eaux superficielles, qui pénètrent directement dans le substrat sableux ou saturent les sables verts créant localement les conditions d'un lessivage soutirant. Celui-ci est actif en période humide. Les eaux alimentent aussi le substrat sableux en acides organiques, produits par la podzolisation des sables soufflés superficiels. Les substances organiques servent ainsi, dans une certaine mesure, de marqueurs du trajet des flux hydriques actuels ou récents.

Les processus de néosynthèse (smectite) et d'illuviation puis transformation d'argiles (palygorskite et surtout sépiolite) semblent s'être combinés pour former l'ensemble argileux profond : un horizon de smectite néoformée, pourrait avoir servi de niveau d'arrêt ultérieur pour les raies d'illuviation. La fourniture de produits en solution ou suspension étant abondante, le problème principal est d'identifier les causes et les processus qui déterminent leur accumulation à la partie supérieure du substrat des sables de Beauchamp. On est amené à invoquer soit un changement des conditions géochimiques à ce niveau, soit l'intervention de facteurs hydrodynamiques et topographiques locaux. C'est ainsi que la formation de l'ensemble argileux profond a pu être initiée par la position d'une nappe, à un stade ancien où la doline était moins enfoncée.

La mise en place des sables soufflés superficiels étant récente (dernier interglaciaire), entraînant une acido-complexolyse abondante, la question se pose de savoir comment la production massive et continue de substances organiques accélère ou modifie, selon les points, les processus qui ont affecté la phase minérale depuis sa décarbonatation.

BIBLIOGRAPHIE

BOULET R., HUMBEL F.-X., LUCAS Y., 1982 - Analyse structurale et cartographie en pédologie. II - Une méthode d'analyse prenant en compte l'organisation tridimensionnelle des couvertures pédologiques. Cah. ORSTOM, série Pédol. XIX, n° 4, p. 323-339.

DRISS FASSI, ILDEFONSE Ph., BOCQUIER G., 1988 - Altération sous couverture calcaire avec genèse de palygorskite, à l'origine d'une évolution du modelé. CRAS . Acad. Sci. Paris, t. 306, série II, p. 1277-1281.

LAMOUROUX M., BELLIER G., HUMBEL F.-X., DRIFFORT E., 1990 - Structures pédologiques karstiques dans une formation carbonatée à recouvrement sableux. Colloques et séminaires, ORSTOM.

RAJOT J.-L., 1988 - Différenciation des sols en forêt d'Ermenonville : influence d'une formation carbonatée et d'un niveau de silcrète. DEA de pédologie, PARIS VI - ORSTOM, 63 p.

PETERSCHMITT E., 1987 - Contribution à l'étude d'horizons argileux profonds en forêt d'Ermenonville. Origine et évolutions ultérieures DEA de pédologie, Paris VI - 0RSTOM, 73 p.

THIRY M., 1988 - Les grès lustrés de l'Eocène du bassin parisien : des silcrètes pédologiques. Bull. Inf. Géol. Bass. Paris, vol. XXV, n°. 4, p. 15-24 - Accumulations argileuses à Ermenonville.

FIGURES

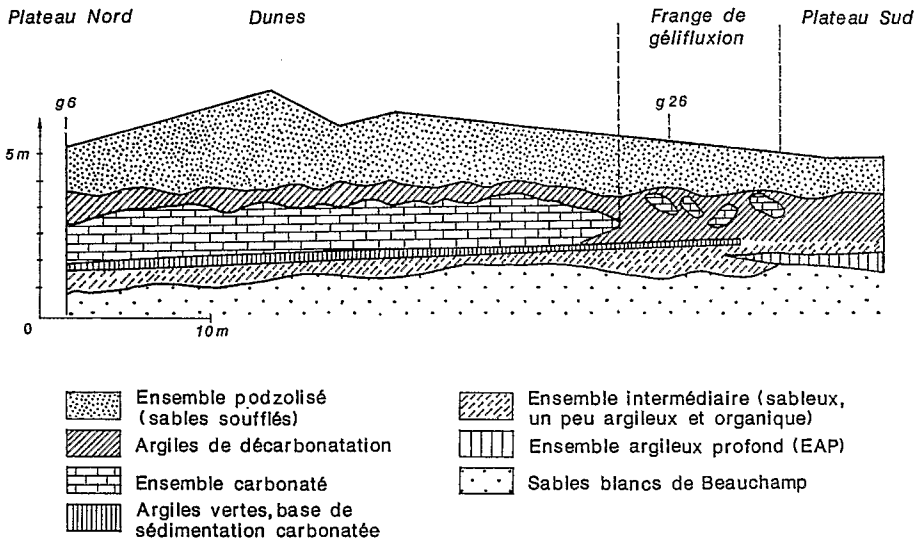

Figure 1 : Coupe schématique.
Relations entre les différentes organisations sédimento-pédologiques.

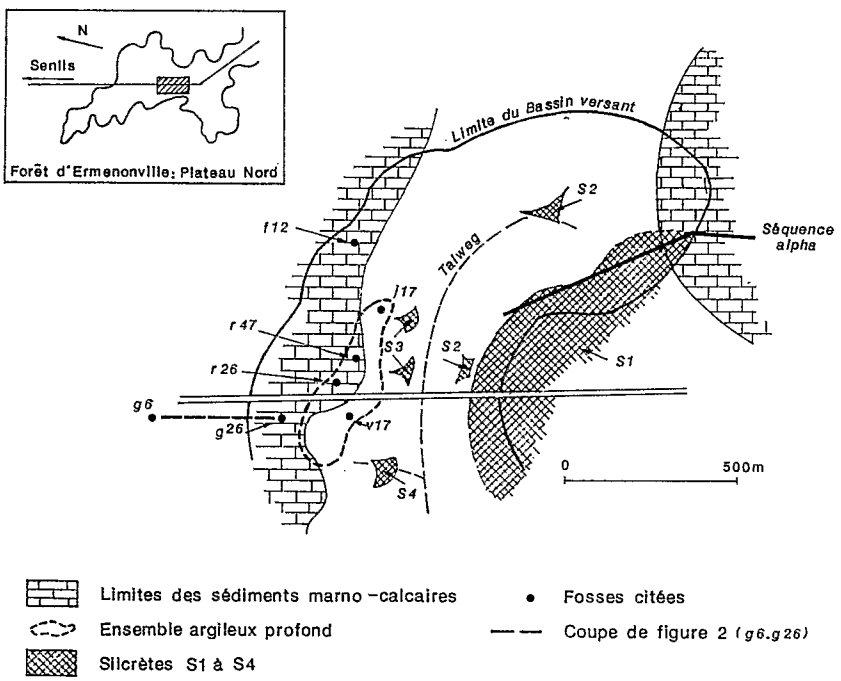

Figure 2 : Localisation des structures observées en profondeur.

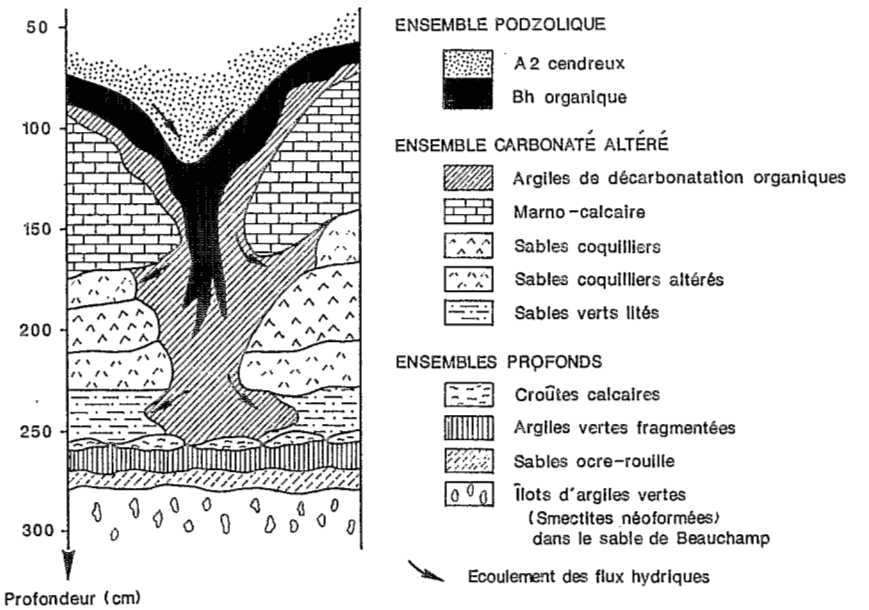

Figure 3 : Indices de néoformations à la base du puits f12.

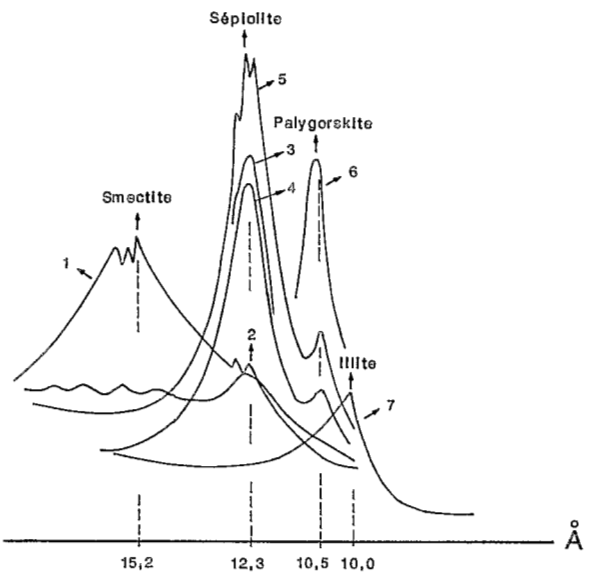

Figure 5 : Pics principaux des diagrammes X de poudre des horizons profonds de g26.

Prof. cm		Description sommaire	pH H2O	Granulométrie < 2 µ	< 0,2 µ	0,2 / 2 µ %	Minéraux Argileux (R X) Nature	Hauteur du pic en cm
		Marno-calcaire sus-jacent					(Sépiolite + Palygorskite)	
290 --	* 7	base des sédi ts carbonatés	6,9	69,3	37,0	53	Illite ouverte	4,6
300 --	* 6	(Argile calcaire)	7,4	36,1	12,6	35	Palygorskite	14,2
310 --	* 5	Sable beige	7,5	6,2	4,8	75	Sépiol. 2/3 + Palyg. 1/3	16,6
320 --	* 4	Silcrète tendre	7,0	6,3	5,3	84	Sépiol. 3/4 + Palyg. 1/4	12,3
330 --	* 3	Sa. beige un peu argileux	6,4	13,3	8,8	66	Sépiolite	12,8
340 --	* 2	Sable beige	6,6	9,4	6,3	67	Sépiolite	4,5
350 --	* 1	Sable verdâtre	6,8	8,3	5,6	67	Smectite (à 15 Å)	10
360 --		Sable blanc de Beauchamp						

*1 à *7 : échantillons analysés.

Figure 4 : Evolutions minéralogiques et granulométriques à la base de la fosse g26.

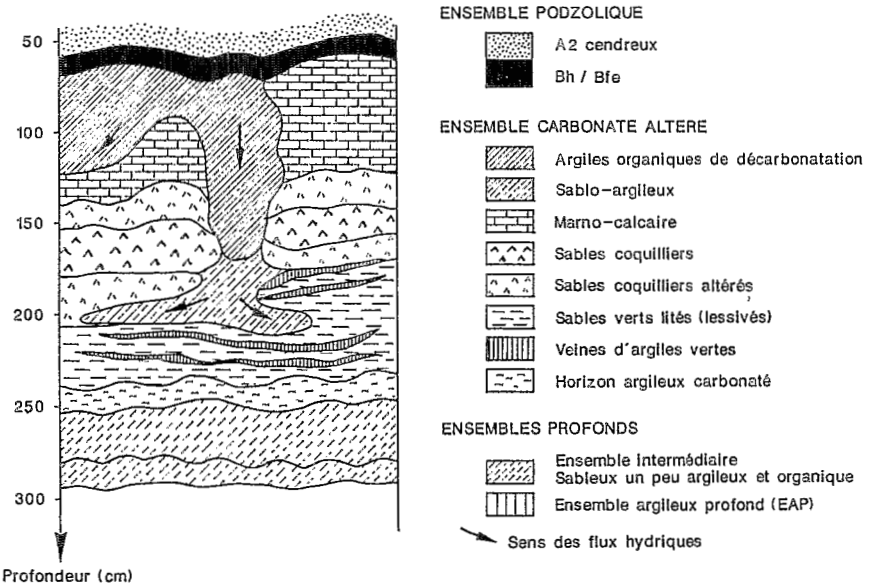

Figure 6 : Indices de lessivage en veines à la base du puits r46.

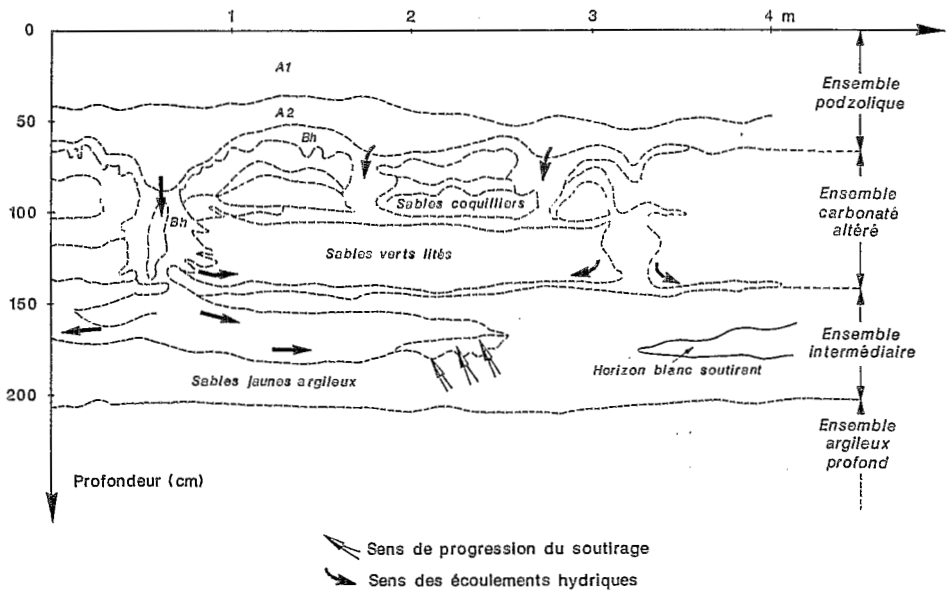

Figure 7 : Apparition par soutirage d'un horizon blanc discontinu à la base de la cheminée v17, puis continu à droite.

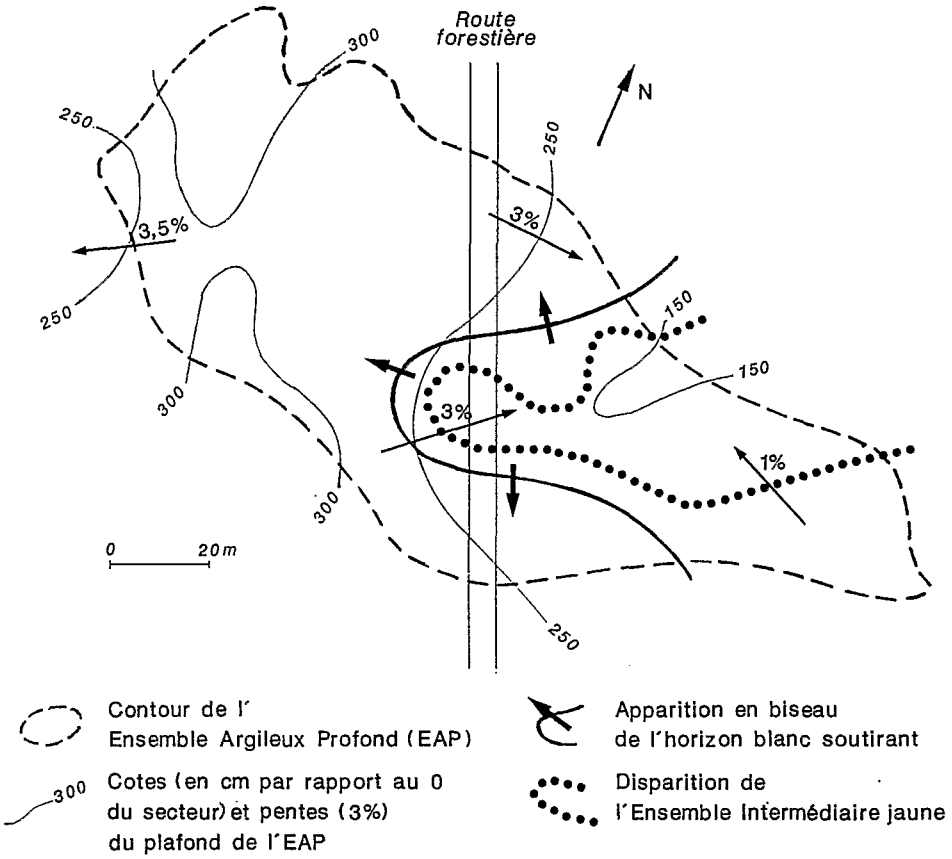

Figure 8 : Extension de l'horizon blanc soutirant dans l'ensemble intermédiaire.

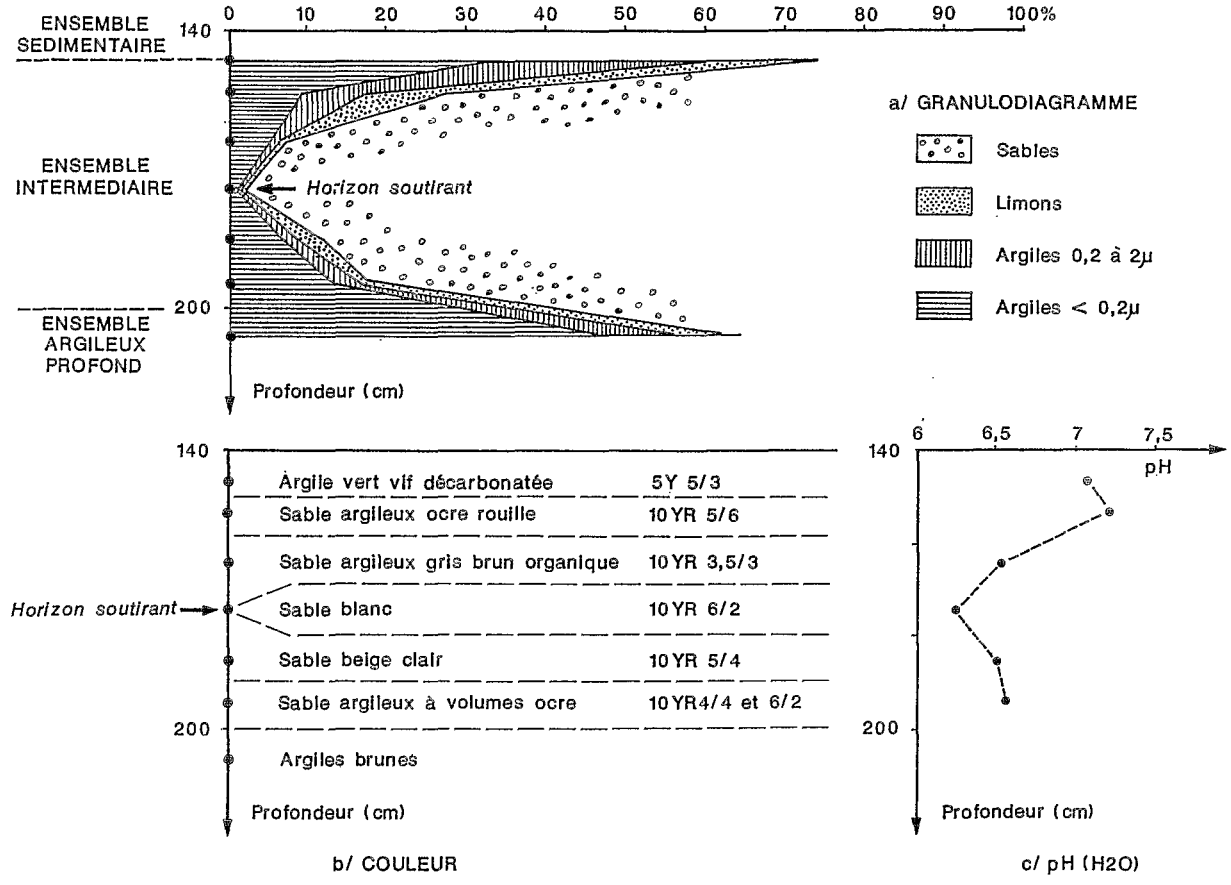

Figure 9 : Caractères de l'horizon blanc soutirant, en v17 dans l'ensemble intermédiaire.

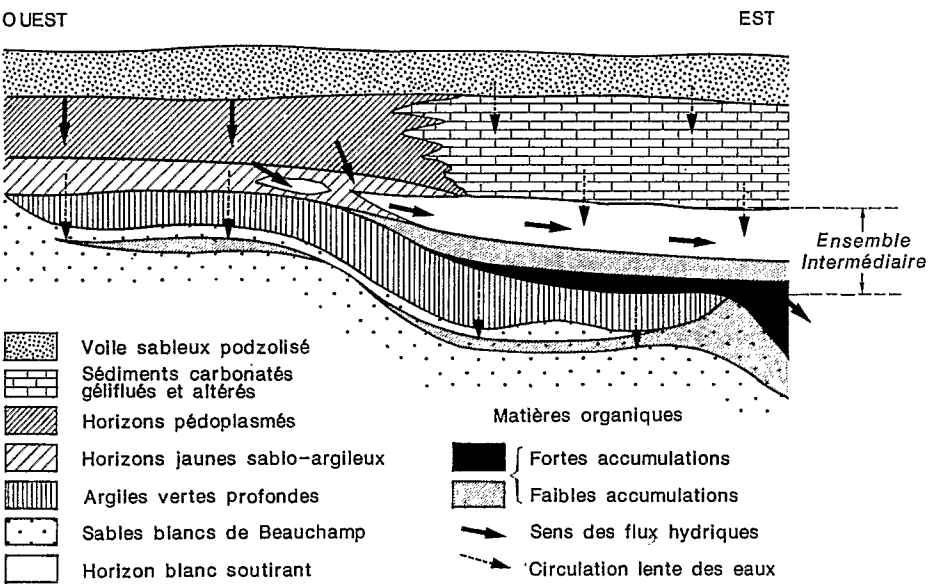

Figure 10 : Circulations actuelles des eaux dans l'ensemble intermédiaire et distribution de matières organiques.

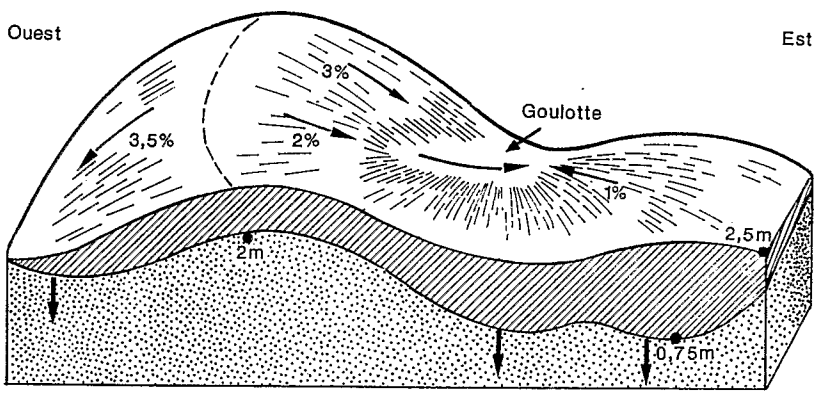

Figure 11 : Bloc diagramme représentant l'EAP sur l'encaissant de sables de Beauchamp (échelles non respectées : cotes en mètres par rapport au O du site et pentes en %).

Ech. N°	Prof. cm	Texture-couleur	Argiles nature	Pic principal en cm	Grands ensembles
			Sépiolite - Palyg. + Illite		Marno - calcaire amont (disparu ici)
1 2	100/120 150	Sa. Arg. beige gris Sa. Arg. base séd^{dts}	Ill. + Palyg. Palyg.	5 11	Ensemble décarbonaté
3	180/190	Sa. Arg. à vol. ocre	Sépiolite	41	Intermédiaire
4 5 6	210/220 220/230 255	Arg. vert foncé Arg. grise à vol. vert Arg. gris mauve	Sépiolite Smect. + Kaol. Smect. dégradée + kaolinite	6 7 2	Ensemble argileux profond

Sa. Arg. : sables argileux - Arg. : Argile - Séd^{ts} : sédiments calcaires - Ill : Illite - Palyg. : Palygorskite.

Figure 12 : Série argileuse étudiée en v17.

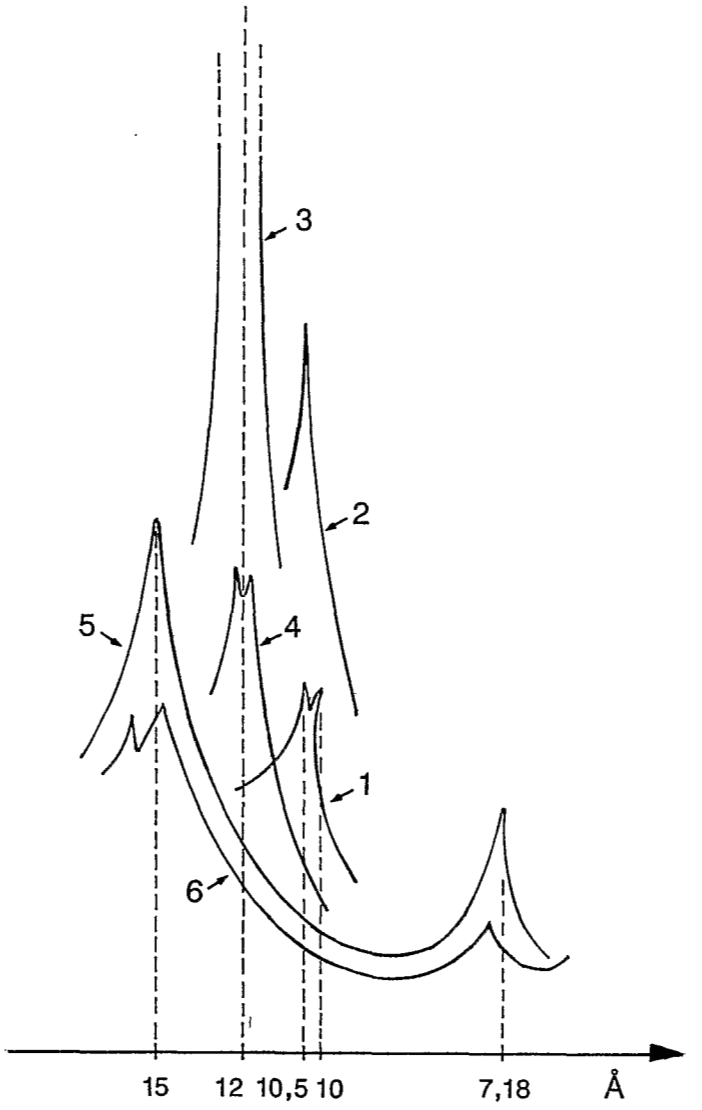

Figure 13 : Pics principaux : des diagrammes X de poudre des horizons profonds de v17 (1 à 6 cf. figure 12).