

Archéopédologie et méthodes physico-chimiques en archéologie



Auteur : Kai Fechner (INRAP Nord Picardie), avec la collaboration de Yannick Devos (Université libre de Bruxelles / Research Team in Archaeo-and Palaeo-Science)

Date de rédaction: 18 avril 2008, dernière révision : 16 avril 2009

Mots clé : indices pédologiques de terrain, analyses chimiques et granulométriques, sols, structures anthropiques et naturelles, phosphates.

Remerciements : à Anne Dietrich et toute l'équipe de la cellule formation de l'INRAP.

Plan de la présentation

1. Archéopédologie et méthodes physico-chimiques : pourquoi en parler ?

1.1. Introduction

1.2. Questions posées à l'archéopédologie et aux méthodes physico-chimiques

2. L'archéopédologie : de quoi s'agit-il ?

2.1. Quelques définitions indispensables

2.2. Position au sein des sciences de la terre

3. Comment l'archéopédologie fonctionne-t-elle pour l'archéologue ?

3.1. L'hierarchie des informations : pas d'analyses de laboratoire sans terrain !

3.2. Comment procède l'archéopédologie sur le terrain ? Les indices de terrain, à la base du reste de la démarche

3.3. Pourquoi et à quel point échantillonner ?

3.4. Où échantillonner ?

3.5. Comment et qui laisser échantillonner ?

3.6. Comment et chez qui conserver les échantillons ?

3.7. Comment procède l'archéopédologie au laboratoire et délais ?

3.8. Utilités de quelques des méthodes d'analyses pour l'interprétation archéologiques (y compris paléoenvironnementale)

3.9. Mode de lecture par l'archéologue des résultats archéopédologiques

4. Mise en perspective : exemples d'application

4.1. Exemple de gestion par l'archéologue d'une étude archéopédologique

4.2. Autres exemples d'échantillonnages 'à ne pas rater'

4.3. Exemple de gestion par l'archéologue d'une approche croisée

4.4. Question-réponse en guise de récapitulatif

5. Conclusion

6. Quelques références générales

1. Archéopédologie et méthodes physico-chimiques : Pourquoi en parler ?

1.1. Introduction

Le sédiment et les éléments chimiques sont omniprésents en archéologie et sont souvent riches en renseignements pour l'étude des hommes du passé et de leur cadre naturel. La compréhension correcte des vestiges archéologiques peut-elle être envisagée sans celle du milieu « sol » dans lesquels ils ont été mis en place et maintenus jusqu'à leur découverte ?

A noter que la version courte d'une partie des chapitres qui suivent est proposée dans la formation orale proposé annuellement à l'INRAP et dont le syllabus reprend toutes les figures. Cette formation orale reprend les mêmes têtes de chapitre, ce qui permet de passer de l'un à l'autre. Sur le site et dans ce cours, il ne s'agit pas de décrire tous les aspects de la discipline, ni de former le lecteur à devenir un archéopédologue. En effet, une telle formation complète ne s'acquiert, selon nous, que par un enseignement détaillé des différents facies de la pédologie (chimie des sols, physique des sols, biologie des sols, méthodes de laboratoire etc. voir *pl. 1*) et, ensuite, par la pratique de terrain et de laboratoire prolongée. Ici, au contraire, seules est présentées les notions qui permettent de **comprendre et faire appel à l'archéopédologie**, ainsi qu'aux analyses physico-chimiques appliquées à l'archéologie. Il a été tenté de sélectionner les aspects qui concernent le plus directement le quotidien de l'archéologue. Ces aspects font l'objet de questions à la fin de ce cours, avec le but d'aider à la récapitulation des notions données présentées.

Planche 1. Constituants et facteurs à prendre en compte dans la pédogenèse et à reconstituer par les analyses. *Aspects essentiels à étudier et connaître si l'on envisage de pratiquer l'archéopédologie et les analyses physico-chimiques appliquées à l'archéologie*

Constituants des sols et des sédiments:

Eléments minéraux : argile, limon, sable, gravier, cailloux, galet, bloc ;
Formés de différents types de molécules : minéraux d'argile, gonflants ou non, oxydes et hydroxydes, carbonates, phosphates, ...
Eléments organiques
Eléments organo-minéraux, y compris phosphore organique
Eau, air

Processus internes liés à l'eau du sol

Gonflements, retrait et pression ; solubilisation, saturation et précipitation ;
Cristallisation, cimentation ;
Acidité et alcalinité ;
Hydratation, hydrolyse, attaques acides ;
Oxydoréduction, échanges d'ions ;
Complexes organo-minéraux ;
Dispersion-floculation.

Types de pédogenèse comprenant ces processus

Altération physique
Altération chimique
Erosion-sédimentation
Migration et accumulation d'argile
Podzolisation (humus, fer, aluminium)
Décalcification-calcification
Décarbonatation
Structuration
Gel
Perturbations florales

1.2. Questions posées à l'archéopédologie et aux méthodes physico-chimiques

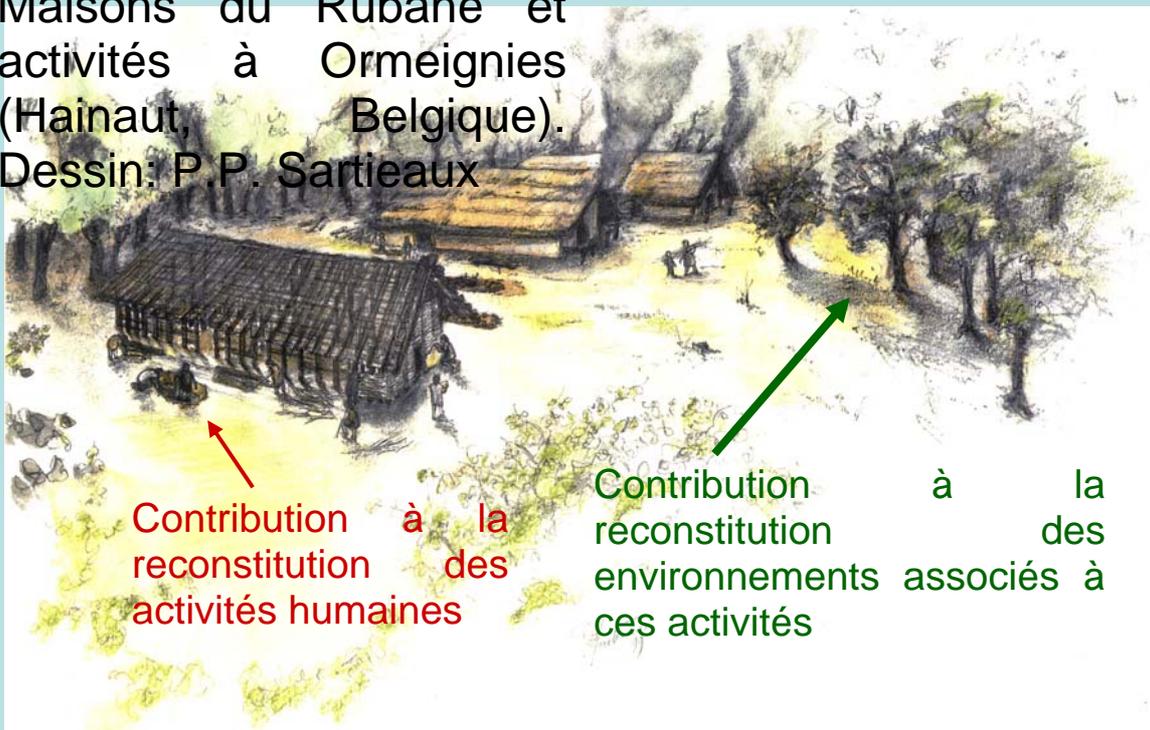
Dans les phénomènes et analyses proprement pédologiques, qu'est-ce qui peut être intéressant pour l'archéologue pour une meilleure compréhension de ses découvertes, à reconnaître sur le terrain, à échantillonner ? Parmi ces échantillonnages et analyses, lesquels sont prioritaires pour ne pas rater des occasions uniques de comprendre le passé d'un site ou d'une région ? Lesquels faire faire par le spécialiste lui-même ? Comment stocker les échantillons ?

Dans les traces au sol, qu'est-ce qui est purement d'origine naturelle et est-ce que cela peut dans certains cas être intéressant à enregistrer ? Quand faire venir un pédologue sur le terrain ? Quelle complémentarité avec la micromorphologie, la géomorphologie, ... ? Comment lire un rapport pédologique ou pédochimique ?

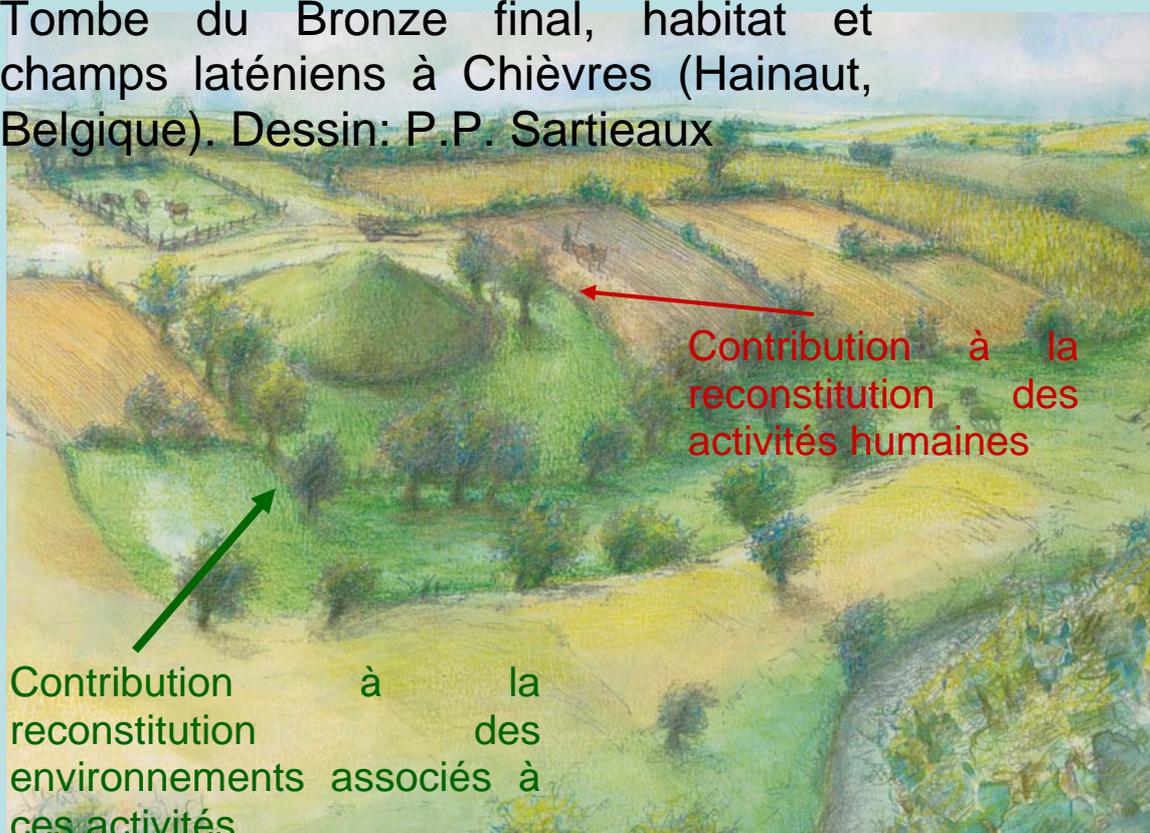
Sur le plan des résultats (pl. 2), comment distinguer un ancien labour d'un dépôt de « terre noire » ou d'un sol naturel sombre, les colluvions des alluvions, un chablis d'une fosse ? Comment reconnaître une érosion antérieure, synchrone ou postérieure aux occupations, la qualité agricole des sols du passé, des phénomènes pédologiques reflétant le mode d'aménagement d'une tombe ou de fonctionnement d'une structure en creux ou d'un foyer, ou encore une activité polluante et sa répartition par rapport aux vestiges,

Rappelons que l'objectif général de la démarche croisée et des efforts qu'elle implique est de permettre d'aboutir à la reconstitution correcte d'un site ou d'un de ses aspects prioritaires, ainsi que de son évolution, grâce à l'intégration, indispensable, de la donnée environnementale.

Maisons du Rubané et activités à Ormeignies (Hainaut, Belgique).
Dessin: P.P. Sartieaux



Tombe du Bronze final, habitat et champs laténiens à Chièvres (Hainaut, Belgique). Dessin: P.P. Sartieaux



2. L'archéopédologie : de quoi s'agit-il

2.1. Quelques définitions indispensables

Archéo-pédologie, l'application de la pédologie à la recherche archéologique; elle étudie les traces et indices laissés dans le sol et spécifiques au milieu archéologique.

pédologie (grec *pedon*, sol et *logos*, science) : étude des sols, de leurs caractéristiques chimiques, physiques et biologiques, de leur évolution.

sédiment : terme désignant un dépôt de surface résultant de la transformation chimique ou physique de matières minérales ou biologiques, souvent transporté et redéposé par l'eau, le vent, la gravité, l'être humain (*pl. 3*). Une fois mis en place, ce matériau peut subir de nouvelles modifications et former ce que l'on appelle un *sol*.

sol : [Pédologie] Formation naturelle superficielle, meuble, de l'écorce terrestre, résultant de la transformation, au contact de l'atmosphère et des êtres vivants, de la roche mère sous-jacente, sous l'influence de processus physiques, chimiques et biologiques. [Autres dont archéologie] Terrain sur lequel on bâtit, on marche.

humus (mot latin) : Dans un sol, substance colloïdale noirâtre résultant de la décomposition partielle, par les micro-organismes, de déchets végétaux et animaux.

organique (matière organique) : [Sciences de la vie] Relatif aux organes, aux tissus vivants, aux êtres organisés. *Vie organique*. [Chimie organique] : partie de la chimie qui étudie les composés du carbone (par opposition à chimie minérale).

pH (sigle de *potentiel hydrogène*) : [Chimie] Nombre sans dimension caractérisant l'**acidité** ou la **basicité** d'un milieu ; mesure de celui-ci. Une solution est acide si son pH est inférieur à 7 (sources fréquentes dans la nature : tourbe, litière organique); elle est basique si son pH est supérieur à 7 (sources fréquentes dans la nature : os, roches riche en calcium).

2.2. Position au sein des sciences de la terre

La **géoarchéologie** est un terme générique pour les méthodes et les concepts des sciences de la terre appliqués à l'archéologie. Une différence fondamentale entre **archéopédologie** et d'autres disciplines de la géoarchéologie est la priorité donnée aux phénomènes de transformation d'un dépôt une fois qu'il est mis en place à la surface et surtout sous la surface de ce dépôt. Il y aura là par exemple des infiltrations d'éléments chimiques caractéristiques d'une pollution donnée ou les stigmates d'un mélange dû à un outil aratoire. La priorité ne va pas à l'étude de l'ordre des mises en place des dépôts et des recouvrements qui sont les principes fondateurs de la stratigraphie en géologie (*pl.3*). Mais l'interaction des processus pédologiques avec des phénomènes stratigraphiques tels que l'érosion et les apports sédimentaires (colluvions, ...) est également étudiée par la pédologie (p. ex. *pl. 19*).

Planche 3 (dessins : Courty et al., 1989).

Ci-dessous : Chaque sédiment est constitué d'un assemblage de grains de différentes tailles : le triangle textural permet de situer chaque échantillon analysé selon la part d'argile, de limon (0,002-0,05 mm) et de sable (0,05-2 mm), formant ensemble 100% de fractions **fines** (fractions **grossières** = graviers, cailloux, pierres et blocs).

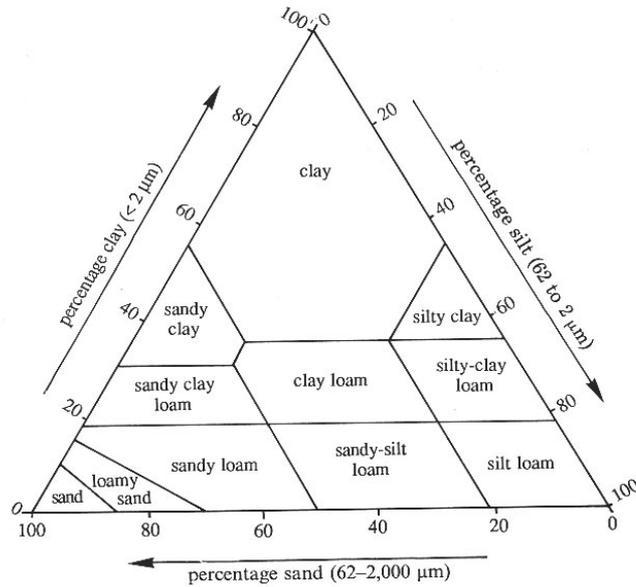


Figure 3.6 Typical triangular diagram showing names and boundaries of particle size classes used in soil science, (Modified from Hodgson, 1974)

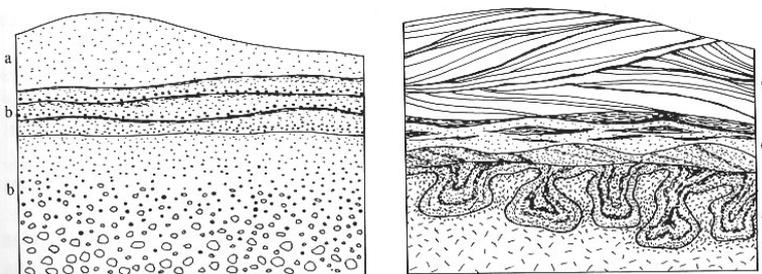
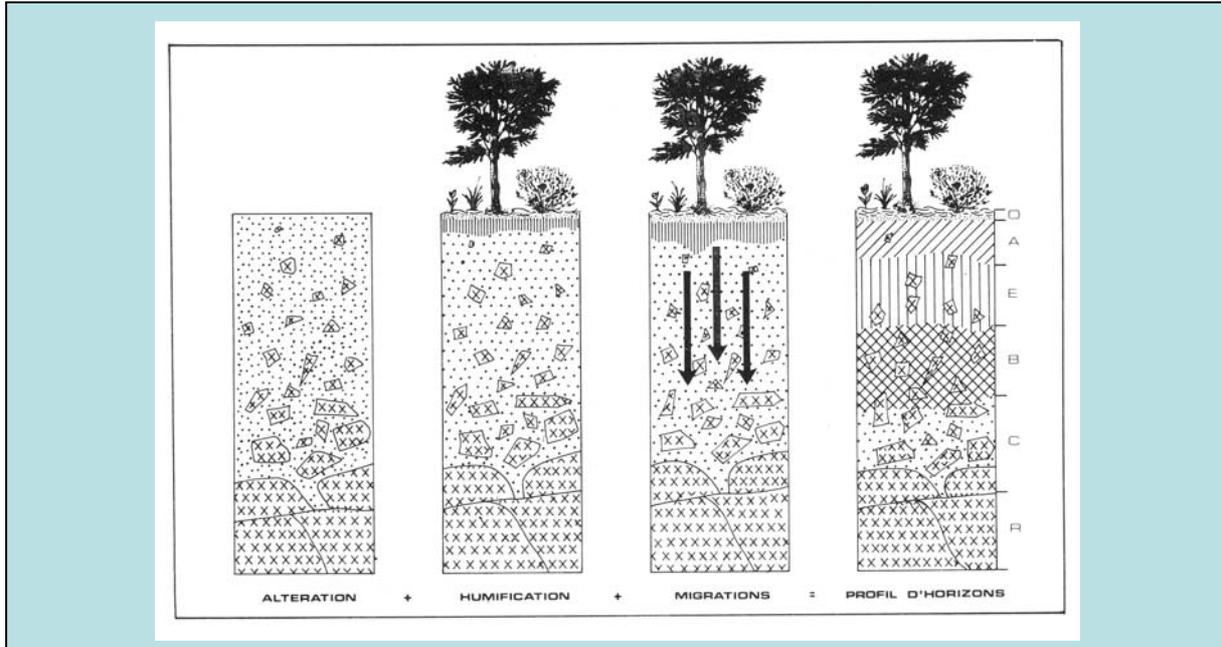


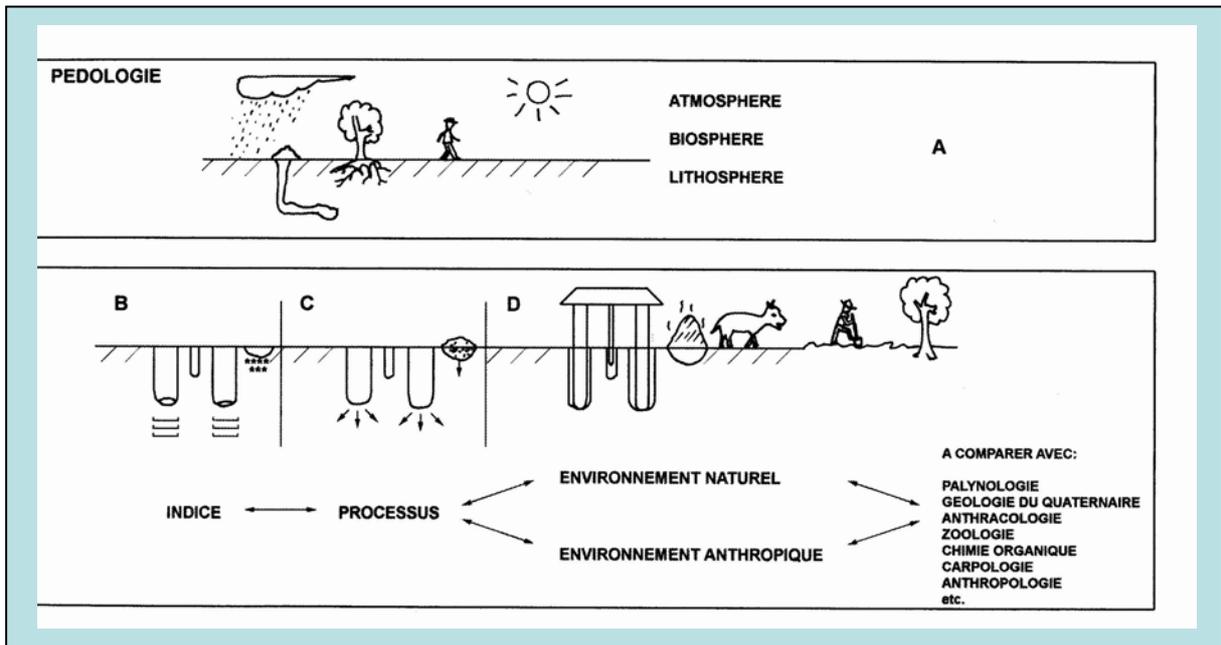
Figure 3.7 Some representative types of bedding and sedimentary structures: (a) massive bedding, (b) grading-bedding, (c) crossbedding, (d) lenticular structures, (e) deformation structures.

Ci-dessus : Les principes de la géologie / lithostratigraphie : à gauche la superposition des dépôts, à droite le recoupement entre dépôts. La déformation en gouttelettes fait, elle, partie des phénomènes de transformation post-dépôtionnels, donc des processus pédologiques.

Planche 4. (dessins : Delecour, 1981 et Fechner, & Sartieaux 2000).



La pédologie: étude de la transformation, sous la surface, d'un dépôt par son interaction avec les phénomènes climatiques, biologiques, anthropiques.



Ci-dessus : Application à l'archéologie : évolution naturelle du sol (en haut), effets associés aux structures en creux et transformation du sol encaissant par l'homme (en bas).

3. Comment l'archéopédologie fonctionne-t-elle pour l'archéologue?

3.1. L'hierarchie des informations : pas d'analyses de laboratoire sans terrain !

Les analyses sont une étape parfois coûteuse et justifiée par une réflexion sur les observations de terrain et des tests chimiques préalables.

Une hiérarchie s'établit dans les étapes du travail pédologique. L'essentiel des réponses provient des observations de terrain, tant du **contexte** naturel (nappe phréatique, topographie, ...) en relation avec les vestiges, que des **données observées en coupe et en plan**, dans la structure individuelle et dans le profil dans le sol naturel qui lui sert de référence. La **couche stratigraphique (dépôt)** peut elle-même être constituée de plusieurs **horizons**, formés après dépôt. Au sein et sous une couche ou un horizon, on observera des **indices pédologiques** (taches, fragments, artefacts, litage, ...).

A une autre échelle, non visible à l'œil, des analyses vont parfois devoir intervenir à un endroit sélectionné sur le terrain et qui pose problème. Elles serviront selon les cas pour préciser et comparer la taille des grains (**granulométrie**, p. ex. limon sableux=sablo-limoneux), les **éléments chimiques** (p. ex. Ca=calcium, P=phosphore), les **minéraux** que forment ces éléments (ex. $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3$: phosphate de calcium de type apatite, typique de l'os et de certaines roches) ou le type de **tissus organiques** présents à l'origine (ex. chitine, caractéristique not. des insectes). A noter qu'un cours d'introduction plus complet devrait démarrer par des notions des principaux processus chimiques et de physique des sols.

3.2. Comment procède l'archéopédologie sur le terrain ? Les indices de terrain, à la base du reste de la démarche

Les indices pédologiques (*pl. 5-9*) observés sur le terrain sont souvent suffisants pour caractériser et interpréter une couche archéologique ou un horizon pédologique. A cette fin, on fait appel à des listes de contrôle des indices pédologiques (*pl. 8-9*), avec deux niveaux d'enregistrements : une sélection d'indices reconnaissables par l'archéologue, - au faible risque de confusion-, peut même faire partie des fiches de description quotidiennes des archéologues (cf. proposition de Fechner *et al.*, 2005). Une liste plus longue, adaptée à la problématique, sera utilisée par le pédologue (p. ex. celles en *pl. 9*).

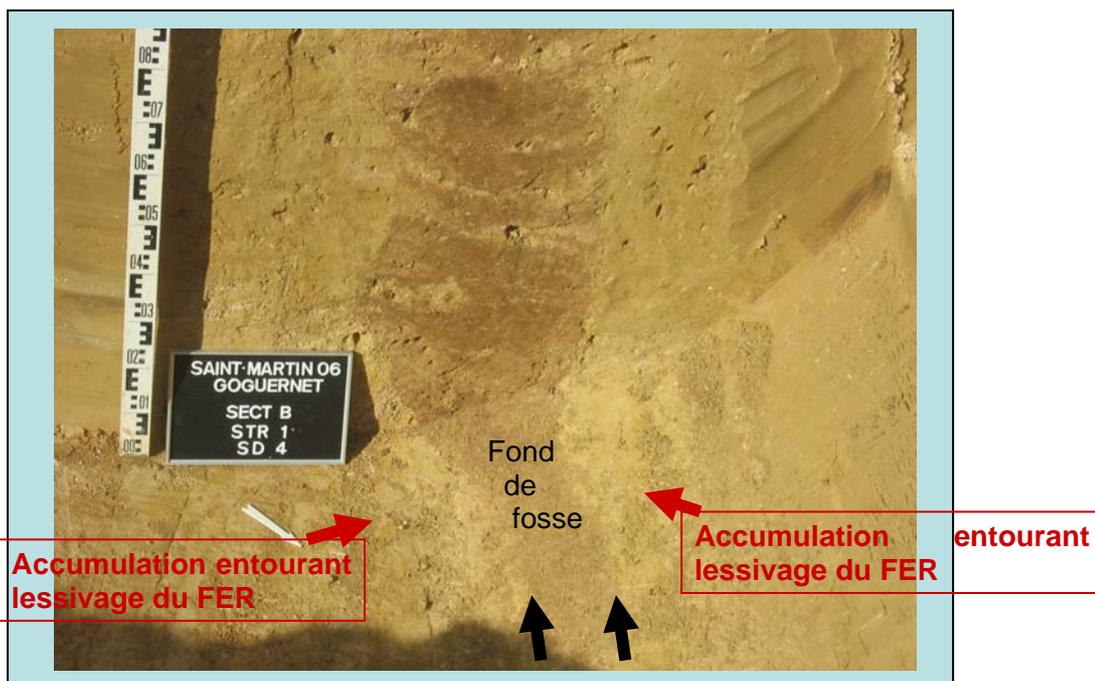
Planche 5. Indices pédologiques sur le terrain. Critères pédologiques à envisager pour décrire et échantillonner des indices archéopédologiques - telles que des taches colorées ou des micro-laminations- dans une structure ou une couche archéologiques.

1. Informations à recueillir dans trois zones:	I. dans la ou les couches archéologiques II. le long de celle(s)-ci III. dans le sol non perturbé. ↓
Nécessité de coupes plus profondes et larges que la structure ou couche archéologique	
2. Contrôle de	
- la variabilité spatiale	- de la structure ou couche archéologique - des indices associés à celles-ci.
- la représentativité de la ou des coupe(s).	
5. Prise en compte pour les indices:	- de l'origine - de la distribution relative - de la variabilité spatiale - de la variabilité temporelle - de l'absence et de la présence - des observations à différentes échelles : - macro-scopique, - méso-scopique, - micro-scopique.

Planche 6. Indices pédologiques liés à la chimie (photos. K. Fechner et M. Kasprzyk)

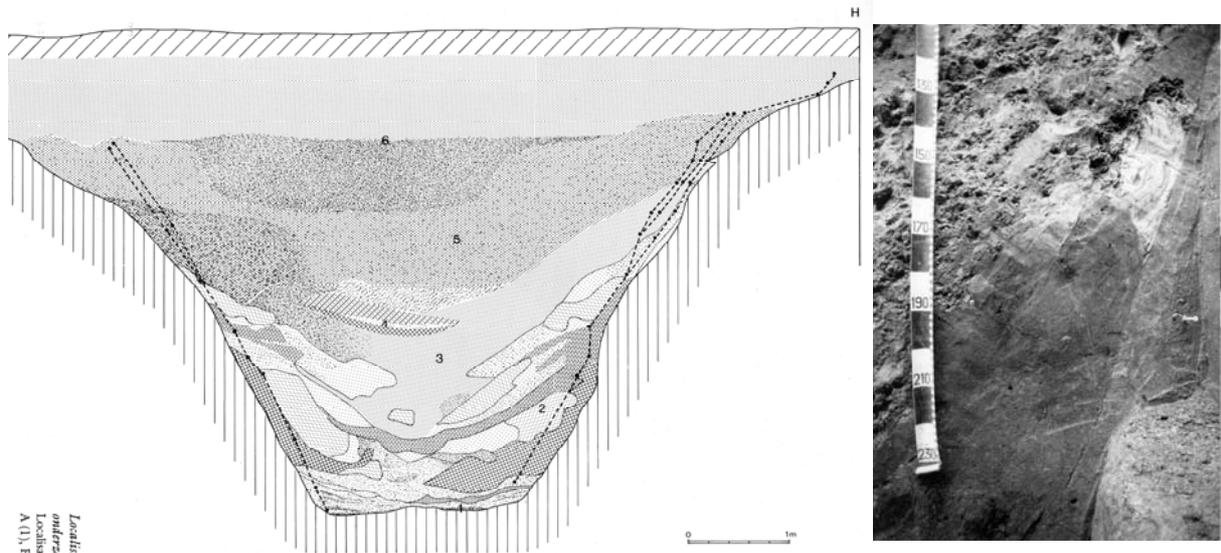


Exemple d'indice pédologique actuel : infiltrations de phosphore organique dans le sol encaissant d'un tas de fumier

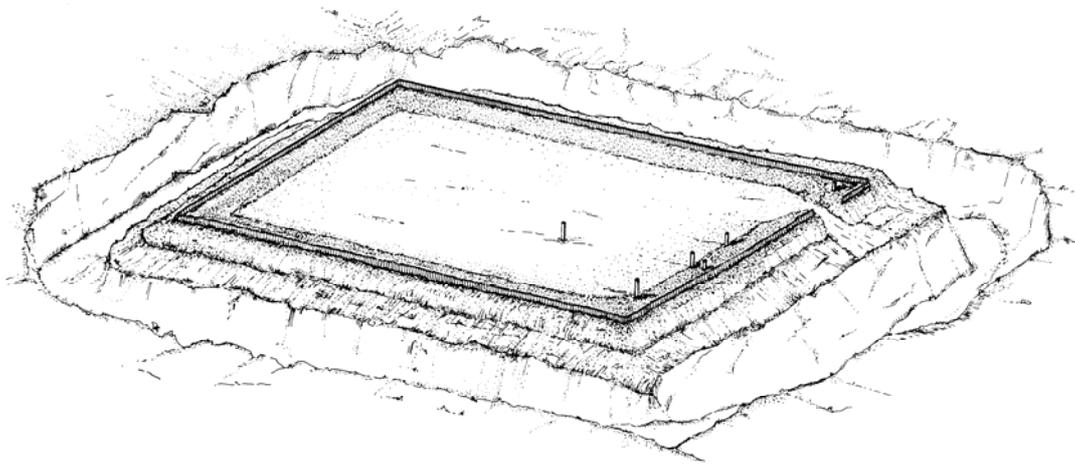


Perte anormale de fer et de calcium aux alentours du fond d'une fosse au profil « en Y » du Michelsberg (Saint-Martin-sur-le-Pré, Marne). L'environnement est d'autant plus typé ici que l'oxydoréduction (perte et accumulation des hydroxydes tel que fer, manganèse, phosphore, sulfure) est habituellement peu active dans un tel lœss calcaire (pH 8,5).

Planche 7. Indices pédologiques liés à un fossé géant (d'après Annaert 1995, Fechner, 2000)



Exemples d'indices le long d'un profond fossé d'enclos La Tène final : indices d'effondrement, sous forme gelée, de la paroi; mise en relation avec les horizons du sol naturel adjacent, asymétrie et nature particulière des comblements suivants (site de Kontich, Anvers, Belgique).



Indices permettant de reconstituer une levée de terre interne le long d'un profond fossé d'enclos La Tène final : asymétrie et nature particulière des comblements suivants ; vide archéologique sur le plan du côté interne du fossé.

Planche 8. Exemple de tableau d'indices dans divers types de structures du site bruxellois du Quartier Sainte-Catherine (Fechner, dans Degré, 1995) (voir légende pour traductions).

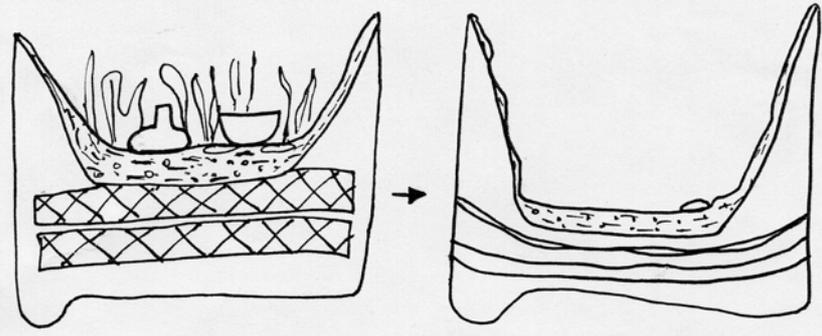
Structures/ couches	labour	'brasserie'	puits	"fossé"	"cuve"	So2, 221/223	So2, 229/230	So3, 231
Erosion and sedi- mentation	Splash	-	0	-	-	-	0	0
	Sheet	-	0	-	-	-	0	-
	Rill	0	0	-	0	-	-	-
	Gully	0	0	-	0	-	-	-
	Slumping	0	0	-	0	-	-	-
	Tunneling	0	0	-	0	-	0	-0
Turbation biological) (non-	Microlam.	0	0	-	x	-	0	-
	Collapse	0	0	-	0	-	0	-
	Tectoturb.	-	0	-	-	-	-	-
	Cryoturb	-	-	-	-	-	-	-
	Sorting	-	-	-	-	-	-	-
	Lifting	-	-	-	-	-	-	-
Ripening	Rip. cracks	0	0	-	0	-	x	0
	Subsidence	0	0	x	-	-	?	0
	Swelling & shrinking	-	0	-	0	-	0	0
Pedological deple- tion & accum.	Fe/Mn-depl.	-	0	-	x	x	x	x
	Fe/MN-red.	-	0	-	x	x	x	x
	Fe/Mn-acc	-	x	-	x	x	x	x
	Basal acc.	-	x	-	x	?	0	x
	P-accum.	?	x	-	x	x	x	x
	Ca-deplet.	-	0	-	0	-	-	-
	Ca-accum.	-	0	-	0	-	0	0
	Clay-deplet.	-	0	-	-	-	-	-
	Clay-accum.	-	0	-	-	-	0	0
	Humus- deplet	-	0	-	0	-	-	-
	Humus- accum.	-	0	-	0	-	0	0
	Around mat.	-	0	-	-	-	-	-
	On the base	-	0	-	-	-	-	-
	On the top	-	0	-	-	-	-	-
In pores	-	x	-	x	x	x	x	
Root gley	-	0	-	-	-	0	-	
Fe-linings	-	0	-	-	-	0	0	
Capping	-	-	-	-	-	-	-	
Decomposition	Veg. poor	x	0	x	0	x	x	0
	Veg. fresh	0	0	x	0	x	x	0
	Min. mat.	-	0	-	-	-	-	-
Man, fauna & flora	In situ ol.	-	0	0	0	-	0	x
	Silos	-	-	-	-	-	-	-
	Fragments	0	x	-	x	-	x	x
	Burned	0	?	0	0	-	-	0
	Spade	-	0	-	-	-	0	0
	Sods	-	0	-	-	-	0	0
	Traffic pan	0	0	-	0	-	0	0
	Trampling	0	0	-	0	-	0	0
	Puddling	0	0	-	0	-	0	0
	Fauna biot.	?	0	-	-	-	0	x
	Flora biot.	?	0	-	-	-	0	-
	Initial	-	-	-	-	-	0	?
	Stabil.	x	0	x	0	-	x	x
	Bones	-	0	-	-	x	x	x
Windthrow	-	-	-	-	-	-	-	

121. Comparaison des structures sur base des caractéristiques pédologiques associées y compris leurs absences (termes en anglais, d'après FECHNER, 1992; FECHNER et LANGHOR, 1993) (Accum. = accumulation, Basal = accumulation in/or along base of structure, Biot. = bioturbation, Cryoturb. = cryoturbation, Fe = Iron, Initial. = during use or abandonment, Mat. = material, Microlam. = microlamination, Min. = mineral, Mn = manganese, ol. = olive, Red. = reduction, Rip. = ripening, Spade = spade mark, Stabil. = stabilisation, Tectoturb. = tectoturbation, Veg. = Vegetal) (0 = absent, x = présent, ? = probablement présent, - = non-contrôlé et/ou hors-propos).

Planche 9. Indices liés aux structures de combustion et aux horizons sombres holocènes
(tableaux : Fechner et al., 2002 ; Fechner et. Al. 2008 ; Fechner schéma: Fechner et al., 2003.)

TRANSFORMATION BY BAKING AND ITS RELATIVE DISTRIBUTION	Absence / presence	Pit hearth		Shallow hearth	Surface hearth	In situ remains of an oven superstructure
		Base	Walls			
Only consolidated						
Rubefied						
Greenish to bluish						
Dark brown to black						
Vitrified						
Others						
DEPOSITIONS DUE TO OR AFTER BAKING	Homogeneous layer of charcoal					
	Homogeneous layer of charcoal but heterometrical					
	Homogeneous layer of charcoal, very fine layer					
	Idem, with underlying coloration (see above)					
	Fine layer of grey ashes					
	Heterogeneous layer of charcoal					
	Others					

Les indices spécifiques aux structures de combustion ; un des tableaux permettant d'enregistrer leur présence-absence



Four du Néolithique ancien d'Alleur (Liège, Belgique): fonctionnement proposé (gauche) et répartition des indices lors de sa découverte (droite).

Tableau descriptif par horizon : relevé de terrain des indices dans un horizon de surface holocène

ETAPES ->	Décapage manuel de la surface de l'horizon	Décapages manuels au sein de l'horizon	Décapage manuel de la base de l'horizon	Vue en coupe base, sommet et centre	Précisions sur la distribution relative
INDICES					
Fissures verticales					
Structure lamellaire					
Taches de fer					
Taches de manganèse					
Taches de CaCO3					
Taches de phosphate					
Lessivage associé					
Bêchage					
Araire					
Charrue					
Piétinement					
Traffic pan					
Racines					
Galeries					
Bactéries					
Terre brûlée					
Céramique					
Charbon de bois					
Pierres					
Concentration					
Orientation					
Taille					
Etat (friabilité)					

Les indices spécifiques aux horizons de surface humifères de l'Holocène

3.3. Pourquoi et à quel point échantillonner ?

Les activités humaines sont notamment conditionnées par les caractéristiques du sol que les analyses permettront de reconstituer. Mais certaines activités humaines (déforestation, agriculture, urbanisation, ...) ont également eu des répercussions sur les caractéristiques du sol (p.ex. acidification, pollution, érosion, ...). Ce sont ces traces directes ou indirectes laissées par l'homme qui permettent de mieux comprendre ce qui s'est passé sur le site et dans ces environs. De plus, le sédiment est un bon capteur de certains polluants (phosphates, métaux lourds, ...). Leur présence peut aider à reconstruire le paléoenvironnement lié aux occupations ou à interpréter des structures archéologiques.

L'échantillonnage doit cependant se limiter à des endroits permettant à répondre à des hypothèses avancées sur le terrain, dans le but de les confirmer, de les infirmer ou de les préciser. Il est indispensable qu'un pédologue contrôle au préalable, sur le terrain, la distribution de l'échantillonnage et la faisabilité d'une étude analytique, selon les structures et les secteurs. Pour des raisons d'économie, toute couche ne justifie pas une étude approfondie et il est indispensable de faire une sélection. Cette sélection des horizons à étudier en détail doit être faite en suivant une stratégie bien établie, de concert avec l'archéologue et les autres paléoenvironnementalistes, pour obtenir des réponses aux questions lancées sur le terrain, et le plus tôt possible.

3.4. Où échantillonner ?

L'échantillonnage sera toujours appliqué à des couches et à des structures que l'on peut comparer, en évitant des perturbations d'une couleur différente (*pl. 10*). On prélèvera également le sol encaissant immédiatement sous-jacent et adjacent à la couche étudiée, ainsi que, idéalement, un profil de référence à un endroit de meilleure préservation des sols naturels (cf. aussi, en anglais dans Mikkelsen & Fechner sur www.roots.archeo.free.fr).

3.5. Comment et qui laisser échantillonner ?

L'échantillonnage se fait en fonction d'une forte sélection du meilleur profil, du plus net indice, des questions posées suite aux diverses observations. Il est donc rare que l'on puisse déléguer l'échantillonnage aux archéologues suite à un bref passage du pédologue sur le terrain. Néanmoins, le cas échéant, il précisera le mode d'échantillonnage et ce à quoi veiller dans le type donné de terrain. L'outil de prélèvement et le sac doivent être propres (voir détails en *pl 13*, cf. aussi dans Mikkelsen & Fechner sur www.roots.archeo.free.fr, en anglais). Nous rappelons également la nécessité de prélever uniquement des profils frais et d'éviter de comprimer l'échantillon s'il doit encore faire l'objet d'observations macro- ou micro-morphologiques (*cf. pl. 13*).

Planche 10. Echantillonnage en coupe et en plan (photos. K. Fechner)



Wareme (Liège, Belgique)

Echantillonnage en coupe de la première couche de remplissage d'un fossé géant (canal ?): la partie supérieure de cette couche est entamée par des biogaleries riches en mollusques dans des provenant de la couche supérieure



Cartographie, du phosphore.

Etape 1: quadrillage du terrain, annotation et préparation des sachets, nettoyage du décapage au sein du cadran

Etape 2: inspection, sélection et prélèvement commun de deux endroits dans le cadran



En gros, nous pouvons diviser les types d'échantillons en deux groupes. D'abord, on a les prélèvements en vrac qui conviennent pour les techniques et les méthodologies qui impliquent l'analyse de matériaux mélangés. D'habitude, des prélèvements d'un kilo suffiront pour effectuer toutes les analyses nécessaires. Une part du sédiment pourra également être conservée pour des reprises d'étude ou des vérifications. Il est très important de se rendre compte de ce que l'on échantillonne. Désire-t-on des résultats qui donnent une moyenne de tout l'horizon, ou bien des résultats très précis pour un endroit spécifique, qui ne sont peut-être pas valables pour le reste de cet horizon. Pour cette raison nous conseillons d'indiquer la raison de l'échantillonnage sur la liste des prélèvements. Pour la plupart des analyses, il est mieux d'éviter de dépasser les limites d'un horizon ou d'une U.S. ou de prendre des échantillons dans des endroits potentiellement perturbés (NB souvent d'une couleur différente de la masse dominante). Ces échantillons en vrac pourront servir aux analyses granulométriques, chimiques, notamment de phosphates, à la diffraction des rayons X, à certaines analyses botaniques et géophysiques.

Ensuite, il y a les prélèvements en blocs non perturbés et orientés sous la forme de boîtes de Kubiena, de colonnes métalliques ou de monolithes. Ils peuvent être utilisés pour la préparation des lames minces ou pour l'étude du bloc sous loupe binoculaire (ou stéréomicroscope). Ils sont également aptes à la microscopie électronique à balayage et pour les analyses chimiques très localisées à la microsonde. Ici, les échantillons sont parfois prélevés à cheval sur deux horizons pour étudier la nature de la limite entre les horizons. D'autres sont pris au beau milieu de l'horizon afin de mieux le caractériser, selon l'objectif de la recherche.

3.6. Comment et chez qui conserver les échantillons ?

Pour la pédologie, il y a lieu de prélever un échantillon spécifique, étant donné les traitements et les modes de stockage différents des autres disciplines (*cf. pl. 13-14*). Nous conseillons de fermer hermétiquement les sachets en plastique avec les échantillons en vrac dès le terrain, afin d'éliminer toute contamination possible. Ensuite, certains échantillons seront séchés avant l'envoi au laboratoire et pour éviter le développement de moisissures. Pour sécher les échantillons nous recommandons un endroit non poussiéreux. Un stockage par le pédologue pose moins de problèmes pour la gestion des étapes suivantes de l'étude. Ensuite, un stockage sélectif à plus long terme peut être envisagé pour des reprises d'études, par exemple dans le cadre d'études à portée régionale ou thématique (*pl. 14* ; p. ex. projets PASS, thèses et maîtrises).

3.7. Comment procède l'archéopédologie au laboratoire et selon quels délais ?

Au laboratoire, le premier stade de l'étude est le nettoyage des échantillons prélevés. De là, l'archéopédologue passe aux observations sous loupe binoculaire (=stéréomicroscope) et aux tests chimiques (*pl. 11/1*). Des analyses physico-chimiques et minéralogiques sont ensuite sélectionnées en fonction des questions de terrain et des tests. Ces analyses fournissent une caractérisation quantifiée (en %) ou nominative (éléments ou minéraux de type X) des horizons qui pourront ainsi être comparés objectivement, par exemple à l'aide d'un traitement statistique. Les délais de réalisation du rapport final seront fonction de l'obtention d'un bon de commande pour les analyses, puis de la durée de réalisation des analyses (généralement quelques semaines à mois). Ensuite, leur interprétation et leur présentation graphique constituera, elle, une étape de plus courte durée.

3.8. Utilités de quelques des méthodes d'analyses pour l'interprétation archéologiques (y compris paléoenvironnementale)

Chaque méthode (analyses du carbone, du phosphore, granulométrie, diffraction aux rayons X,) est sélectionnée en fonction du type de sol et au type d'information que l'on nécessite, en fonction de la problématique archéologique. Il n'est pas rare que cela amène le pédologue à conseiller de mettre la priorité des moyens sur une méthode issue d'une autre discipline, par exemple la malacologie (*pl. 10/1*), les phytolithes, ...

Planche 11. Tests et analyses. Photos. K. Fechner, sauf c: Alain Bernard/ ULB ; d: Y. Devos/ ULB).

Classement de tests de phosphore (non-quantitatifs) au sein d'une construction sur poteaux.

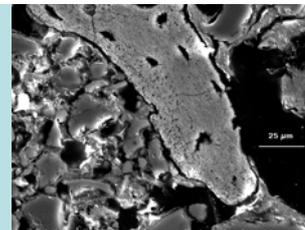
Les tests sont exécutés afin de contrôler la faisabilité d'une étude plus approfondie et de sélectionner les échantillons à analyser de manière quantitative.



Laboratoire pour préparations de produits, analyse de la granulométrie et dosages de certains éléments chimiques



Vision au microscope à balayage (combiné à la microsonde et à la diffraction par rayons X)



Vision en lame mince et épifluorescence

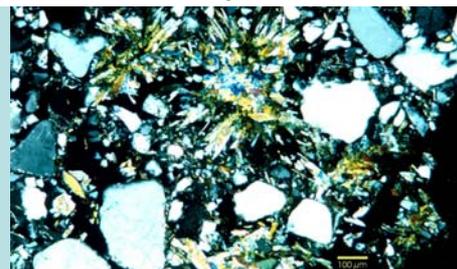
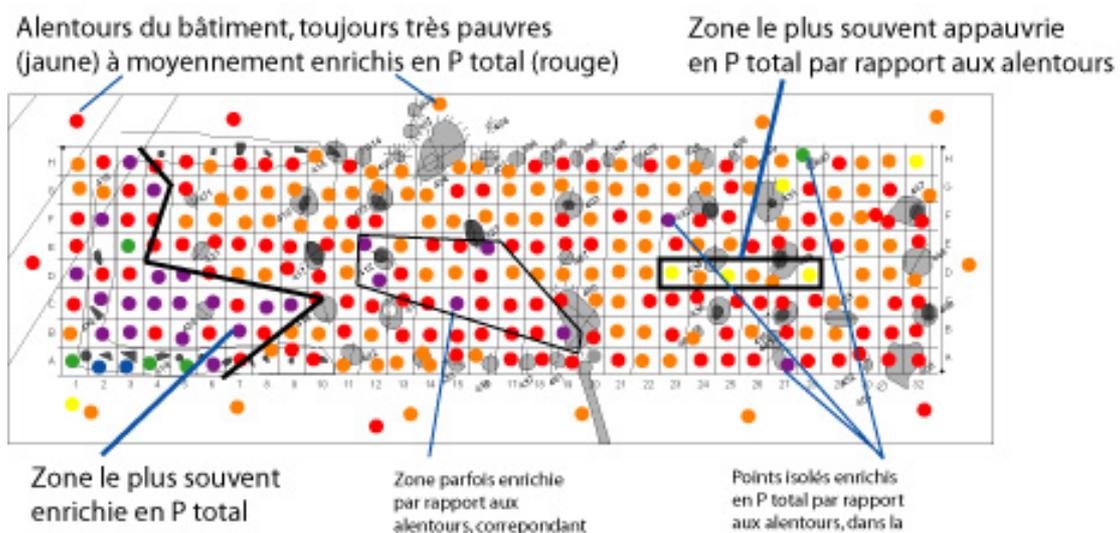


Planche 12. Cartographie chimique (photo. K. Fechner, dessin: R. Baes&K. Fechner).



Prélèvement du sommet du sol encaissant dans un plan de maison, sur un sol non érodé, sur une surface plane dans un fond de vallée sans nappe ou plateau).



Objectifs : (1) de détecter les zones plus polluées par les phosphates, comparés à d'autres éléments chimiques et au taux d'argile, à la susceptibilité magnétique, aux parasites et phytolithes; (2) de préciser les limites de la maison ou de détecter des secteurs d'activités associés.

Passons en revue la plupart des méthodes de laboratoire. La **mésomorphologie** est l'étude, à l'œil nu et sous la loupe binoculaire (stéréomicroscope), des blocs de sédiment (ou des lames minces), la **micro-morphologie** est l'étude de lames minces sous le microscope à polarisation et à épifluorescence. L'étude micro-morphologique peut non seulement participer à la détermination de la composition exacte d'un sédiment et sa structure, mais aussi détecter l'orientation et la distribution de toutes les unités. L'**épifluorescence** permet de s'assurer de la présence de matières organiques ou de certaines matières minérales fluorescentes, et, dans certains cas, de déterminer la nature exacte de certains de ces éléments et d'évaluer leur état de conservation (tissus végétaux, os).

L'étude de la **granulométrie** (taux de grains de différents diamètres) est une manière efficace de caractériser un sédiment pour le différencier d'un autre ou pour l'apparenter à un autre (appartenance à un horizon du sol, origine précise d'un sédiment).

L'objectif d'une détermination de la **densité apparente** est de connaître la densité du sol qui est en corrélation directe avec la compaction ou la maturation. Des sédiments plus ou moins âgés peuvent posséder des densités différentes.

Le **test du phosphore** est non quantitatif. Il permet de comparer la quantité relative de phosphore d'un grand nombre d'échantillons à faible frais pour obtenir une première idée de la pollution, par exemple pour une cartographie d'une grande surface ou la comparaison de lots très importants. Aucune interprétation aboutie n'est possible sans analyses, qui permet notamment de comparer différents lieux de prélèvements et sites entre eux.

Les **dosages chimiques** (notamment pH, calcaire actif, carbone, azote, calcium, magnésium, potassium, sodium, fer, manganèse, phosphore assimilable et phosphate total) constituent, comme la granulométrie, une manière efficace de caractériser un sédiment pour le différencier par rapport à un autre ou pour l'apparenter à un autre (appartenance à un horizon du sol, origine précise d'un sédiment). La qualité d'un sol, certains processus de transformation, enfin certains polluants ou certains ingrédients anthropiques sont mis en évidence ou confirmés par les analyses. Parmi ces dosages, le **taux de saturation en bases** (calcium, magnésium, potassium, sodium) et la **capacité d'échange cationique** sont deux bons indicateurs de la fertilité et du degré d'évolution des sols, aux méthodes à choisir selon le type de sol. Le taux en **phosphate total** reflète le mieux la pollution par le phosphore du passé, surtout si on adapte, là aussi, la méthode au type de sédiment et que l'on arrive à distinguer différents types de phosphore.

La **microscopie à balayage** permet d'observer à très grand agrandissement un échantillon perturbé ou non perturbé et, du fait de sa profondeur de champ, d'en apprécier le relief. La microsonde (ou analyse micro-chimique) permet d'y analyser de manière semi-quantitative un point ou toute la surface quant aux éléments présents. Elle est complémentaire aux **diffractions par rayons X** qui déterminent le minéral présent s'il est bien cristallisé. Il est possible d'observer en trois dimensions, de cartographier et de caractériser chimiquement les éléments minéraux présents à un endroit particulier d'un échantillon. Ces endroits particulièrement intéressants pour l'interprétation ont le plus souvent été remarqués au préalable sur le terrain, en lame mince ou à l'analyse chimique.

Planche 13. Instructions de prélèvement et de stockage de sédiment en vrac pour les analyses archéopédologiques (granulométrie, chimie, taux de phosphates, test de phosphore, microscope à balayage, microsonde, diffraction aux rayons X, ...). Fiches du Service régional de l'Archéologie de Lorraine complétée par K. Fechner.

A. Normes de prélèvement, de conditionnement et de conservation à court terme des écofacts, en sac ou en carotte

• **Quantité de matière ou de sédiment à prélever (et nécessaire à l'analyse) :**

- quantité minimale : **500g** (choix dans le type d'analyse), **200 g** (si prévu pour une seule analyse (p. ex. cartographie du phosphore))
- quantité optimale : **2kg** (toutes les analyses sont possibles)

• **Emballage des prélèvements à court et moyen terme :**

	Prélèvement en sac	Carottes
- matériau d'emballage :	sac plastique hermétiquement fermé	ok ¹
- neutralité chimique du contenant :	oui <input checked="" type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	oui <input checked="" type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>
- étanchéité :	secondaire <input type="checkbox"/> obligatoire <input checked="" type="checkbox"/>	secondaire ² <input checked="" type="checkbox"/> obligatoire ³ <input checked="" type="checkbox"/>
- environnement :	sec ⁴ <input checked="" type="checkbox"/> humide ⁵ <input checked="" type="checkbox"/> lumineux <input type="checkbox"/> sombre <input checked="" type="checkbox"/>	sec ⁴ <input checked="" type="checkbox"/> humide ⁵ <input checked="" type="checkbox"/> lumineux <input type="checkbox"/> sombre <input checked="" type="checkbox"/>

• **Geste à faire ou à ne pas faire lors du prélèvement pour l'optimiser:**

- à faire : *photographie de détail, position centimétrique exacte sur le relevé. Utiliser un outil propre.*
- à éviter ou ne pas faire : *éviter mélange de deux couches ou de deux type de sédiment au sein d'une même couche. Ne pas prendre des racines, des comblements d'anciennes galeries naturelles, reconnaissables à leur forme, à leur différence de couleur ou de quantité de graviers. Eviter étiquettes en papier et inscriptions au marqueur indélébile de couleur qui s'effacent avec le temps au contact de la lumière.*

• **Forme sous laquelle le prélèvement doit être remis au laboratoire :**

- tamisé : oui non
- mode de tamisage : sec humide - taille du criblage : /
- observations particulières : *ne pas tamiser car tri intervenu change la nature physico-chimique de l'échantillon.*

Remarques : ¹ On peut la plupart du temps prendre le centre de la carotte pour éviter toute contamination. ² La sécheresse de l'échantillon ne pose pas de problème, elle est même nécessaire pour le laboratoire. ³ La poussière pose un problème, car elle change la nature physico-chimique de l'échantillon. ⁴ Préférable pour éviter le développement de moisissures. ⁵ Acceptable dans un environnement sombre et frais qui ne permet pas le développement des moisissures.

Planche 14. B. Normes de sélection et de conservation à long terme des écofacts

• **Quantité de matière ou de sédiment à conserver :**

- sur des lots anciens non analysés : 500-1000 g, si possible aussi un petit fragment en bloc non-écrasé, représentatif, plus grand.
- sur des lots anciens ou récents analysés : 200 g, si possible aussi un petit fragment en bloc non-écrasé, représentatif, plus grand

• **Forme sous laquelle le prélèvement doit être conservé s'il a été analysé**

- Pour un prélèvement en sac :
 - une conservation systématique oui non
 - si oui, tamisé ou non : oui non
- Pour un prélèvement en carotte :
 - une conservation systématique oui non

- Observations particulières :

• **Emballage des prélèvements à long terme :**

	Prélèvement en sac	Carottes
- matériau d'emballage :	<i>sac plastique</i>	
	<i>fermé hermétiquement</i>	<i>ok¹</i>
- neutralité chimique du contenant:	oui <input checked="" type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	oui <input checked="" type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>
- étanchéité :	secondaire <input type="checkbox"/> obligatoire <input checked="" type="checkbox"/>	secondaire ² <input checked="" type="checkbox"/> obligatoire ³ <input checked="" type="checkbox"/>
- étanchéité :	secondaire <input type="checkbox"/> obligatoire <input checked="" type="checkbox"/>	secondaire <input type="checkbox"/> obligatoire <input checked="" type="checkbox"/>

• **Gestes à faire ou à ne pas faire pour optimiser la conservation des écofacts, en sac et en carotte :**

- surveillance spécifique : oui
non
- ajout de produits : oui
non

• **Conditions de conservation des écofacts (en sac et en carotte) à long terme:**

- température : -10 à + 10°C
- hygrométrie : *milieu sec est préférable pour éviter le développement de moisissures. Humidité est acceptable dans un environnement sombre et frais qui ne permet pas le développement des moisissures.*
- luminosité : *faible à nulle*

• **Durée de conservation maximum : /**

Remarques : ¹ on peut la plupart du temps prendre le centre de la carotte pour éviter toute contamination.

² La sécheresse de l'échantillon ne pose pas de problème, elle est même nécessaire pour le laboratoire.

³ La poussière pose un problème, car elle change la nature physico-chimique de l'échantillon.

3.9. Mode de lecture par l'archéologue des résultats archéopédologiques

Ici, le pédologue veille généralement à distinguer deux étapes :

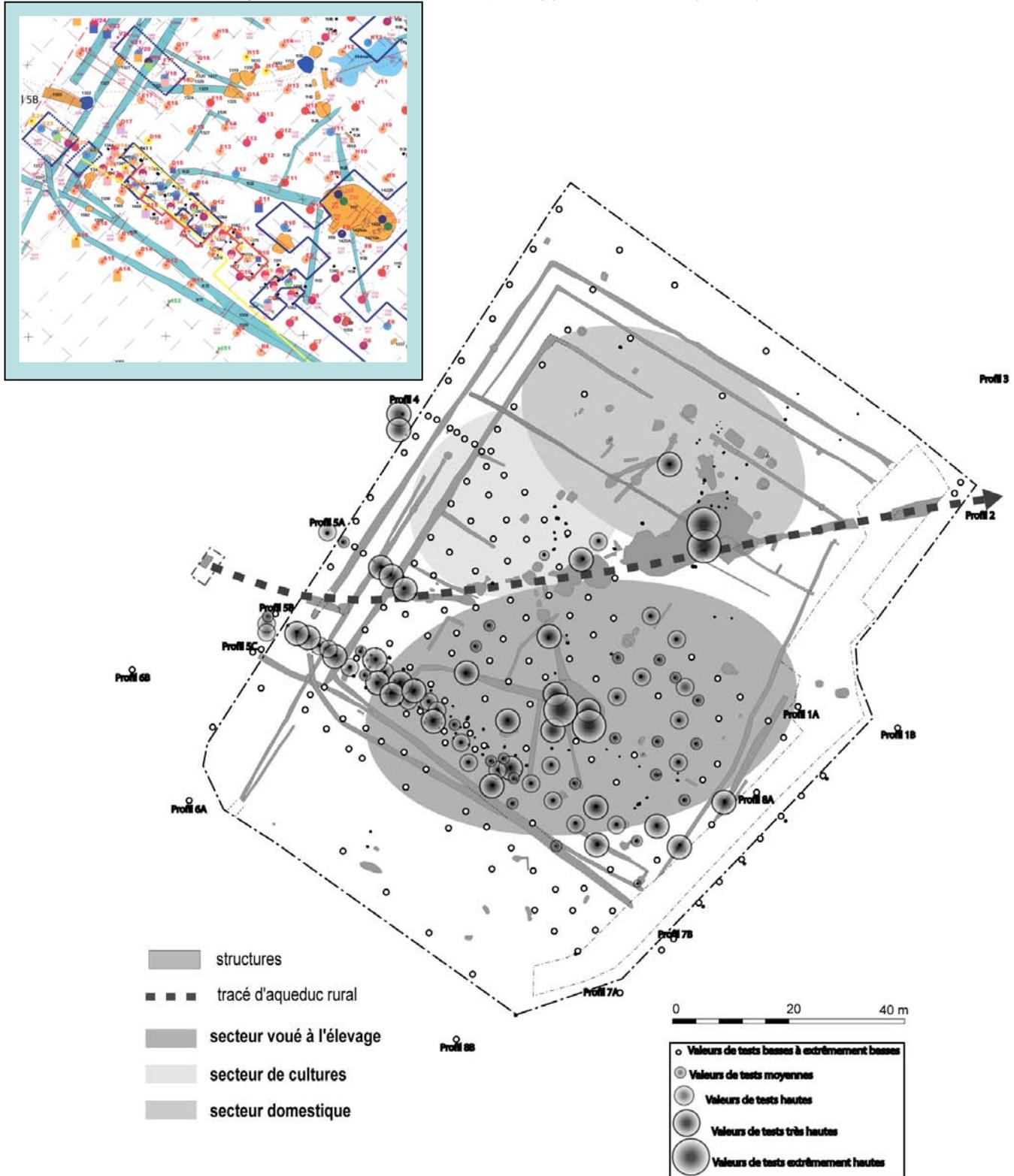
- d'une part, une étape objective de présentation des analyses chiffrées et de leurs positions sur les coupes ou les plans archéologiques ;
- d'autre part, leur interprétation environnementale ou archéologique (*pl.15-19*) que l'archéologue pourra intégrer de manière critique dans le rapport général, ce qui lui sera plus facile s'il a de bonnes notions du mode de fonctionnement des disciplines collaborantes.

4. Mise en perspective : exemples d'application

4.1. Exemple de gestion par l'archéologue d'une étude archéopédologique

Le cours oral que le présent texte accompagne s'en tient pour l'essentiel à une étude de cas en Ile-de-France, la cartographie des phosphates dans et autour des enclos gallo-romains de Saint-Brice-sous-Forêt (Val d'Oise, *pl.15*). En parcourant la démarche suivie sur ce site, particulièrement complète, nous pouvons passer en revue les aspects traités ci-dessus. Cette démarche a compris une prise en compte de la pédologie dès les premières phases de la fouille de terrain et des études interdisciplinaires des facteurs de formation du sol pouvant influencer le taux de phosphates enregistré (notamment botaniques, historiques et cartographiques).

Planche 15 (d'après Fechner et al., 2006 ; Rouppert *et al.*, sous presse).

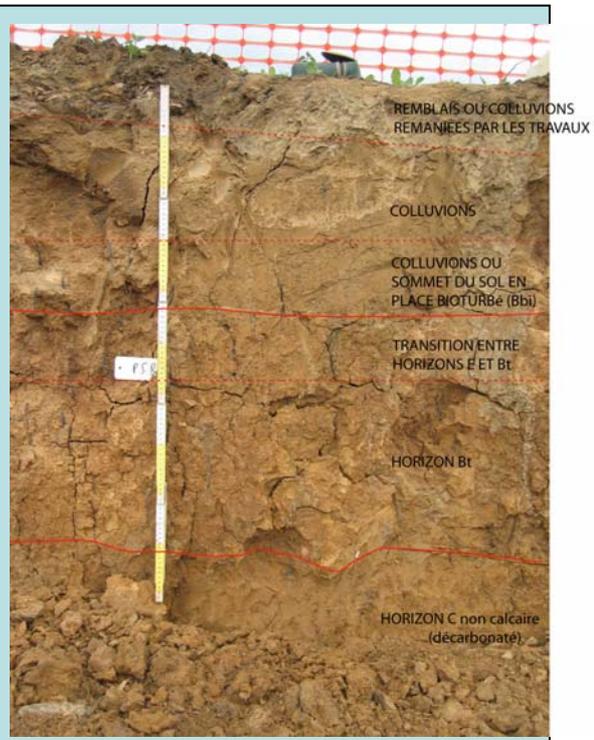


Cartographie des zones pollués par du phosphore dans et autour d'un enclos gallo-romain (Saint-Brice-sous-Forêt), mettant en évidence une partie d'enclos (en bas), une partie de maison longue et une fosse géante consacrées à l'élevage.

Planche 16. Paramètres pour une cartographie chimique (tableau : Devos et al., sous presse ; photos. : K. Fechner)

	Precipitation	Texture	Soil development	pH	Bioturbation	Fertilizer	Redox	Porg/PE	Water-logged soils	erosion	Compaction	Soil cover	Parent material	Time
Precipitation	X	X			X		X		X	X	X	X	X	
Texture		X	X		X								X	
Soil development			X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
pH				X	X	X	X	X				X	X	X
Bioturbation					X	X				X		X	X	X
Fertilizer						X		X						X
Redox							X		X		X		X	X
Porg/PE								X	X		X		X	X
Water-logged soils									X				X	X
Erosion										X		X	X	X
Compaction											X			X
Soil cover												X	X	
Parent material													X	
Time														X

Facteurs de formation du sol influant sur le taux ancien de phosphore et sur sa préservation jusqu'à nos jours: ces facteurs sont à contrôler sur le terrain et par un pédologue *avant* tous échantillonnages et analyses, si l'on veut comprendre les résultats des tests de phosphore et des analyses de phosphate.

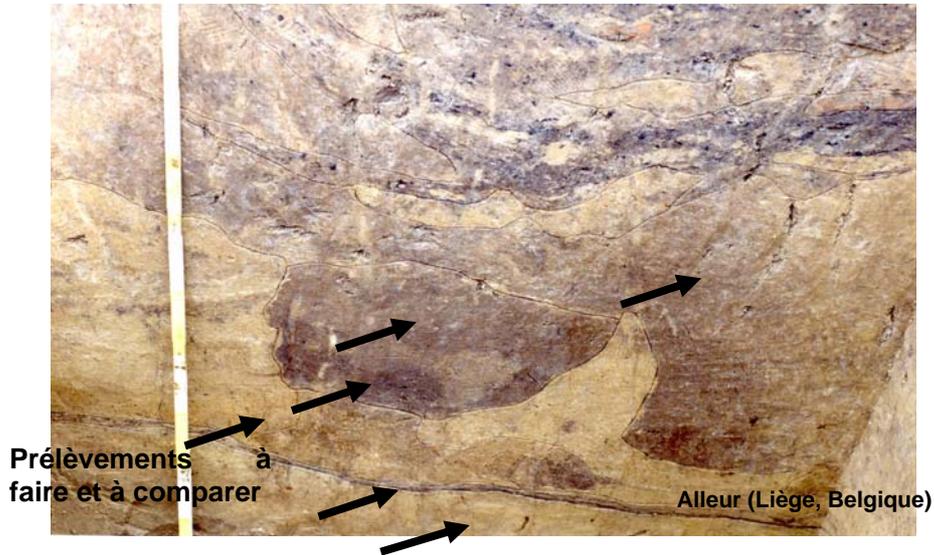


Prise en compte de l'encaissement, de l'érosion et des profondeurs de décapage à Saint-Brice-sous-Forêt

4.2. Autres exemples d'échantillonnages 'à ne pas rater'

- Le plan de maison rubané à cartographier du point de vue chimique, sur un sol non érodé, sur une surface plane (fond de vallée sans nappe ou plateau) (*pl. 12*).
- Les fosses néolithiques particulières, en cas d'indices bien associés à la phase d'utilisation (*pl. 17/1*) et ce de manière répétée dans des fosses de forme similaire.

Planche 17 (photos d'après Fechner et al., 2003 ; Dewilde, 1980 ; Wesemann, 1998)



Echantillonnage de fosses du Néolithique ancien particulières, aux indices associés à la phase d'utilisation, dans des fosses de forme similaire.



Les fosses géantes dites de rouissage.

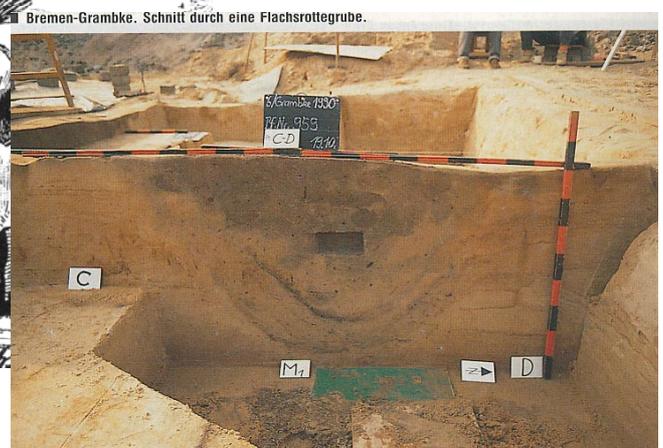
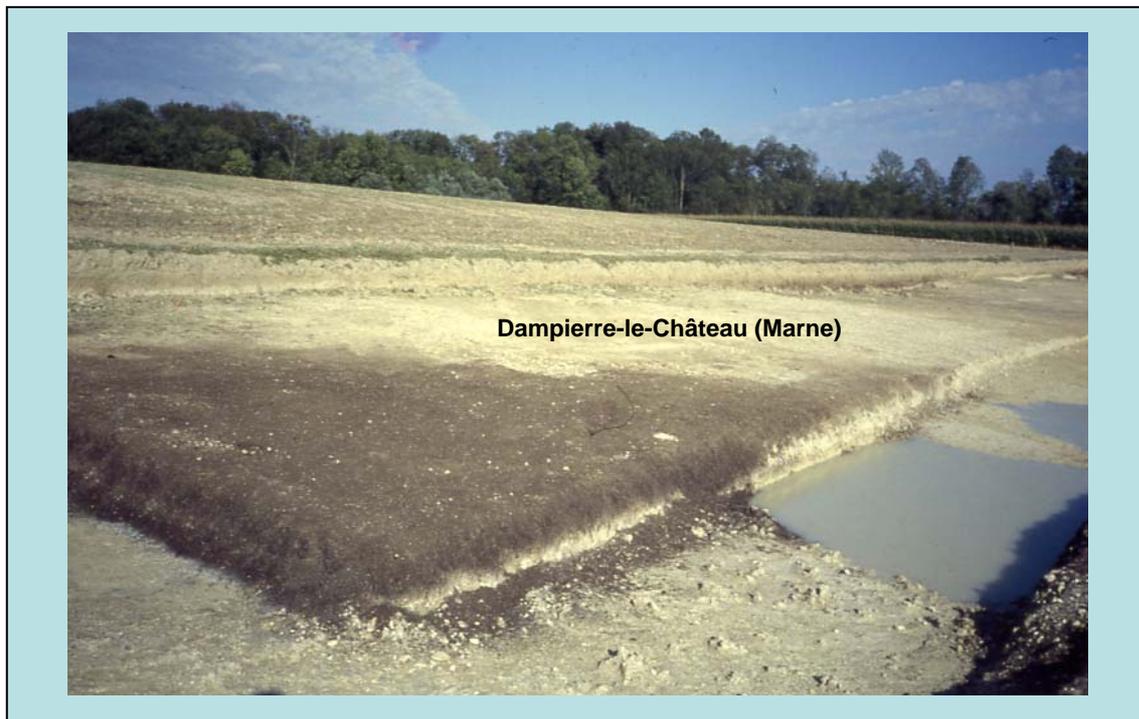
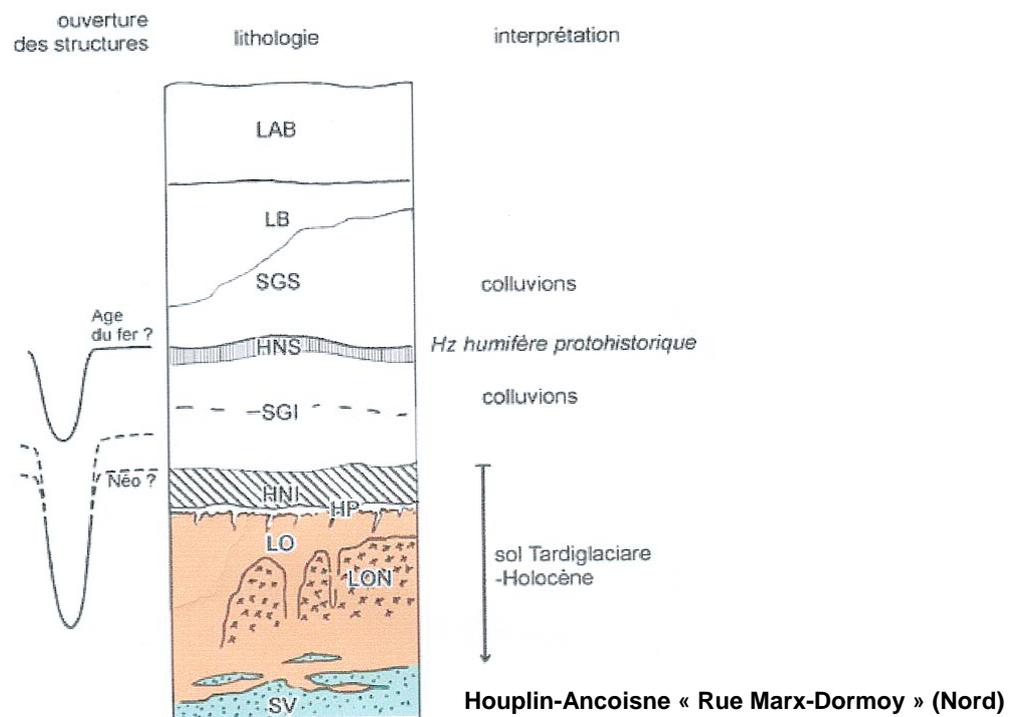


Planche 18. Les horizons sombres enterrés, à étudier en cas de fourchette chronologique bien définie (photo. K. Fechner ; dessin : Laurent Deschodt)

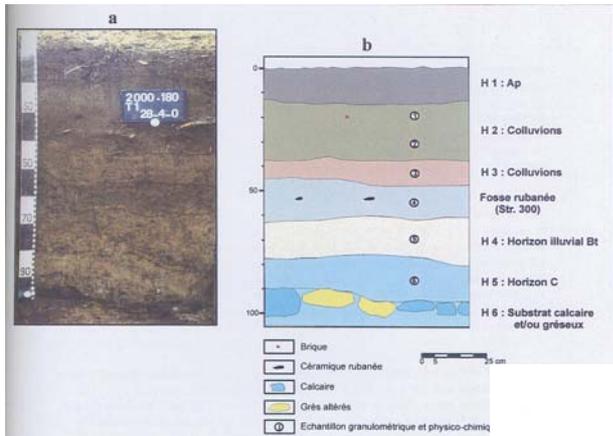


Horizon forestier enterré datés les charbons de bois qu'il contient et par sa relation stratigraphique avec les structures archéologiques et, respectivement du Néolithique moyen et Bronze final, environnement déterminé par la pédologie et la malacologie.

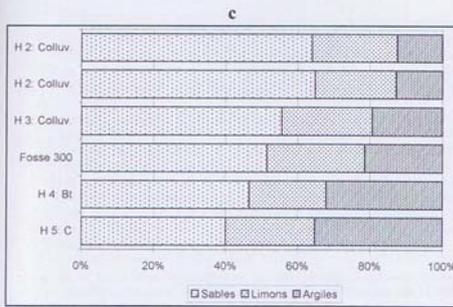


Horizons enterrés datés par leur relation avec les structures archéologiques, respectivement du Néolithique final et de La Tène ancienne (dessin : Laurent Deschodt)

Planche 19. Colluvions et « sols » enterrés (dessins : R. Baes, K. Fechner et L. Cammaert).



Evolution verticale de la granulométrie des horizons de surface enterrés et des colluvions, comparaison avec le sol encaissant et avec un référentiel régional



Profil-type pour la Moyenne Belgique

Horizons et granulométrie moyenne pour la Moyenne Belgique

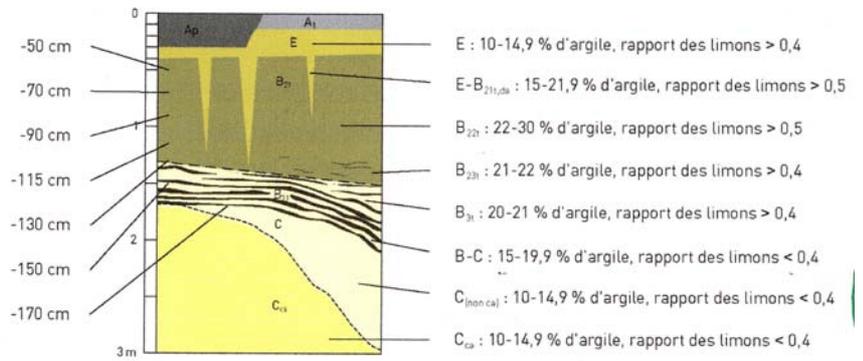
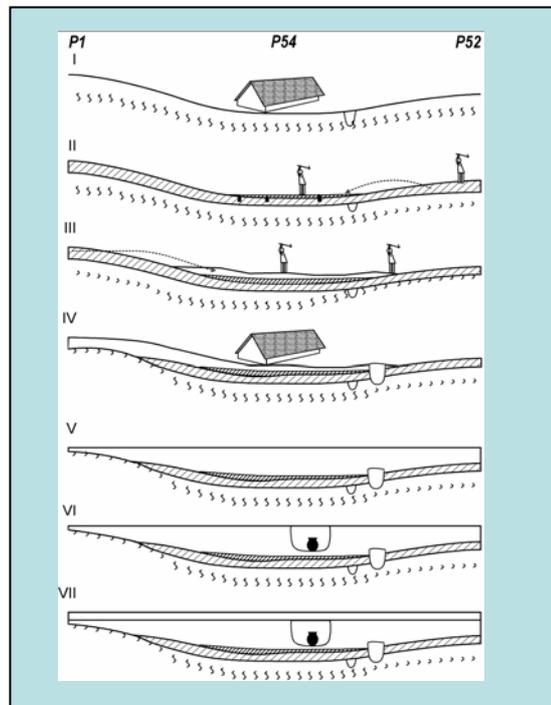


Figure 31. Profil pédologique P 1 sur le site. a : photo profil. b : dessin profil avec les horizons et les échantillons; c : histogramme de la granulométrie avec les distributions relatives des sables, des limons et des argiles; d : comparaison avec le sol encaissant et avec un référentiel régional.



NÉOLITHIQUE ANCIEN

BRONZE FINAL

EPOQUE ROMAINE

Reconstitution de la séquence des environnements anthropiques du Néolithique à l'époque romaine, basée sur l'étude et la stratigraphie fine des horizons de surface enterrés et les colluvions (Remerschen, grand-duché de Luxembourg).

4.3. Exemple de gestion par l'archéologue d'une approche croisée

a. Les horizons sombres enterrés, à étudier en cas de fourchette chronologique bien définie (pl. 18-19).

b. Les fosses géantes dites de rouissage (pl. 17/2).

4.4. Question-réponse en guise de récapitulatif (pl. 20)

Planche 20.

a. En cas de découverte d'un « sol » sombre enterré	
- un grand ou plusieurs petits sacs sur toute l'épaisseur ?	
- dans une coupe avec un recoupement ou loin de celui-ci ?	
- à quelle distance min. du recoupement, des galeries ?	
b. En cas de découverte de fosses riches en particularités	
- échantillonnage systématique ?	
- quelles couches et horizons ?	
- à mener soi-même ou en appelant un pédologue ?	
- avec quelles autres disciplines environnementales ?	
c. Pour une cartographie du phosphore	
- faisable sur sable, limon ou argile ?	
- à faire soi-même ?	
- sur terrain périodiquement gorgé d'eau ?	
- dans fond de vallée ?	
- sur pente forte ?	
- sur pente faible ?	
- sur plateau ?	
- en bloc ou en vrac ?	
- quel volume ?	
- quel stockage des sachets ?	
- analyses à interpréter soi-même ?	

5. Conclusion

Comme l'écrit Marnix Pieters (1994), pédologue des fouilles du Carrousel: « Une fouille archéologique équilibrée ne peut plus se priver d'une approche paléo-environnementale cohérente. Les sciences partenaires de l'archéologie ont actuellement atteint une résolution fort haute. Malgré cela, il faut constater que dans bien des cas, les efforts analytiques ne produisent pas des résultats à la hauteur des efforts investis. Afin d'optimiser les résultats d'analyses, il est donc souhaitable de croiser les enquêtes différentes, menées indépendamment ».

6. Quelques références générales

6.1. Sélection « méthodes »

DEVOS Y., FECHNER K. MIKKELSEN J.H., sous presse. The application of phosphorus cartography to archaeological structures: the development of a protocol. In: Fechner K. & Devos Y., eds., *Enclosed and buried surfaces as key sources in Archaeology and Pedology*. Papers of the EAA congress of Krakow (= British Archaeological Records. International Series).

DUCHAUFOUR P. 2001. *Introduction à la science du sol. Sol, végétation, environnement*. 6^e éd. de l'Abrégé de pédologie (Paris, Dunod).

FECHNER K., LANGOHR R., DEVOS Y. 2004. Archaeopedological checklists. Proposal for a simplified version for the routine archaeological record in Holocene rural and urban sites of North-western Europe. In: Carver, G. (ed.): *Digging the dirt. Excavation in a New Millennium* (papers of the EAA congress of Lisbon); British Archaeological Reports. International Series, pp. 239-256.

LANGOHR, R. 1990, L'homme et les processus d'érosion des sols limoneux de Belgique et du Nord-Ouest de la France. In : Leman-Delerville G. (dir.), *Les Celtes en France du Nord et en Belgique, VI^e-I^{er} siècle avant J.-C.*, Catalogue d'exposition (Musée des Beaux-Arts de Valenciennes), Crédit Communal, pp. 211-222.

LANGOHR R., 1993. Types of tree windthrow, their impact on the environment and their importance for the understanding of archaeological excavation data. *Helinium*. XXXIII/1, pp. 36-49.

LANGOHR, R. 2000, Creusement, érosion et comblement des fossés; l'approche des sciences de la terre, *Revue archéologique de Picardie*, 1/2(=Actes de la table ronde internationale de Ribemont-sur-Ancre, Des enclos, pour quoi faire?), pp.57-65.

MIKKELSEN, J.H. 1997. Laboratory method for determination of organic, inorganic and total phosphate. *Bulletin of the archaeological micromorphology working group 1: Round table III : phosphates* (sur internet: <http://www.gre.ac.uk/~at05/micro/soilmain/intro1.htm> et www.roots.archeo.free.fr).

6.2. Sélection « méthodes et applications »

FECHNER K. 2000. Comparaison des histoires sédimentaires des fossés protohistoriques étudiés en Belgique et dans le Nord de la France. *Revue archéologique de Picardie* n° 2000/ 1-2 (=Actes de la table ronde internationale de Ribemont-sur-Ancre « Des enclos, pour quoi faire ? »), pp. 23-56.

FECHNER K. 2004, avec la collaboration de Boulen M., Decocq O., Deligne F. et Vanmoerkerke J.. L'étude pédologique et malacologique des « sols noirs » du tracé champenois du TGV-est : apport à la connaissance de l'agriculture et du paléoenvironnement à l'Holocène. *Lunula. Archaeologica protohistorica*. XIV, pp. 117-122.

PIETERS, M. 1994, L'approche pédologique et paléo-environnementale. In: *Grand Louvre, sous les jardins du Carrousel*, Dijon (=Les dossiers d'archéologie, 190), pp.10-15.

POUPET P. 1999. La pédologie. In: Bravard J.P., Cammas C., Nehlig P., Poupet P., Salvador P.G., Wattez J., *La géologie : les sciences de la terre. Collection "Archéologiques"* (dirigée par A.

Ferdière) (Paris, Ed. Errance), pp. 93-138.

VAN VLIET-LANOË, B., FAGNART, J.P., LANGOHR, R., MUNAUT, A.V. 1992. Importance de la succession des phases écologiques anciennes et actuelles dans la différenciation des sols lessivés de la couverture lœssique d'Europe occidentale: argumentation stratigraphique et archéologique. *Science du Sol* 30, pp. 75-93.

6.3. Autres

FECHNER K., BAES R., DEVOS Y. 2001. The importance of collecting field informations for archaeology. Using ad hoc checklists for the study of archaeological structures in Belgium, Luxembourg and Northern France. In : Fuleky, G. (éd.). *Proceedings of the 1st International Conference on Soils and Archaeology*, Szazhalombatta, Hungary, 30. May - 3. June 2001 (Gödöllö, Matrica Museum), pp. 22-25.

FECHNER K., BLANCQUAERT G., LANGOHR R. 2004. L'utilité de l'archéopédologie : l'exemple du site du Marais de Dourges (Pas-de-Calais). *Archéopages*, 12, mars 2004 : 10-13.

FECHNER K., KLEINER F. 1997. The combination of SEM, microchemical, micromorphological and other analyses for interpreting archaeological sites in Wallonia and Brussels (Belgium), *Bulletin of the archaeological micromorphology working group 1: Round table III : phosphates* (sur internet: <http://www.gre.ac.uk/~at05/micro/soilmain/introl.htm> et www.roots.archeo.free.fr).

FECHNER K., MESTDAGH H., BOSQUET, D., sous presse, en collaboration avec Haesaerts, P., Langohr, R., Louwagie, G., Schartz, E.: Etude pédologique et micromorphologique du site mésolithique de Rebecq « Spinoi ». In: Bosquet, D. (ed.). Les sites préhistoriques sur le tracé occidental du TGV en Wallonie Etudes et documents. Serie: fouilles.

FECHNER K., SARTIEAUX P. 2000. Reconstituer le paléoenvironnement à l'échelle humaine. Essai de visualisation des résultats de l'archéopédologie sur le tracé occidental du Train à Grande Vitesse en Wallonie (Belgique). In : Louwagie G. , Langohr R. eds., *Thematic Day. Soils and Palaeoenvironment Reconstruction. Applications in Geo- and Archaeopedology*. Actes de la table ronde internationale de Gand, 10 novembre 1999. *Pedologie – Themata*, 8 , pp. 35-54.

LANGOHR, R. 1991, Soil characteristics of the Motte of Werken (West Flanders- Belgium), in: TAUBER, J. (ed.), *Methoden und Perspektiven der Archäologie des Mittelalters, Tagungsberichte zum interdisziplinären Kolloquium, Sept. 1989, Liestal (Schweiz)*, s.l. (= Archäologie und Museum, Berichte aus der Arbeit des Amtes für Museen und Archäologie des Kantons Baselland, Heft 20), pp.209-223.

LANGOHR R. 2001. L'anthropisation du paysage pédologique agricole de la Belgique depuis le Néolithique ancien – Apports de l'archéopédologie. In : *Etude et gestion des sols*, vol. 8, 2, 2001, pp. 103-118.

LOUWAGIE G., LANGOHR R. eds., *Soils and Palaeoenvironment Reconstruction. Applications in Geo- and Archaeopedology*. Actes de la table ronde internationale de Gand, 10 novembre 1999. *Pedologie – Themata*, 8.

MIKKELSEN, J.H. & LANGOHR, R. 1996, A Pedological Characterisation of the Aubechies Soil, a well Preserved Soil Sequence Dated to the Earliest Neolithic Agriculture in Belgium, in: Castelletti, L. & Cremaschi, M. (ed.), *The Colloquia of the XIII International Congress of Prehistoric and Protohistoric Sciences, Forlì (Italia) 8-14 September 1996*, Forlì, (= section Paleoecology, 3), pp.143-149.

STÄUBLE H., LÜNING J. 1999. Phosphatanalysen in bandkeramischen Häusern. *Archäologisches Korrespondenzblatt* 2, pp. 169-187.