



**HAL**  
open science

# CARTOGRAPHIE SYSTÉMATIQUE DU PHOSPHORE DANS LES HABITATS NÉOLITHIQUES ET DE L'ÂGE DU BRONZE

Frédéric Broes, Kai Fechner, Viviane Clavel

► **To cite this version:**

Frédéric Broes, Kai Fechner, Viviane Clavel. CARTOGRAPHIE SYSTÉMATIQUE DU PHOSPHORE DANS LES HABITATS NÉOLITHIQUES ET DE L'ÂGE DU BRONZE. Olivier Lemercier; Ingrid Sénépart; Marie Besse; Claude Mordant. Habitation et habitat du Néolithique à l'âge du Bronze en Fange et des marges. Actes des secondes rencontres Nord-Sud de Préhistoire récente. Archives d'Écologie Préhistorique, Archives d'Écologie Préhistorique, pp.577-597, 2018, 9782358420242. hal-03957035

**HAL Id: hal-03957035**

**<https://hal.science/hal-03957035v1>**

Submitted on 5 Mar 2023

**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.

DU NÉOLITHIQUE À L'ÂGE DU BRONZE  
VISION DIACHRONIQUE

## CARTOGRAPHIE SYSTÉMATIQUE DU PHOSPHORE DANS LES HABITATS NÉOLITHIQUES ET DE L'ÂGE DU BRONZE INTÉRÊT ET RÉSULTATS

FRÉDÉRIC BROES, KAI FECHNER, VIVIANE CLAVEL

Ces quinze dernières années ont vu de nombreuses études physico-chimiques menées sur les aménagements architecturaux découverts lors de fouilles préventives du Nord de la France, du Luxembourg et de Belgique. Les cartographies du phosphore, en particulier, permettent de mettre en évidence la logique d'utilisation d'un bâtiment en soulignant l'existence de partitions internes, si elles existent, ou en établissant le caractère fortement anthropisé de l'espace interne en lien avec des activités économiques (stockage, élevage). Enfin elles précisent parfois l'extension et la forme du bâtiment. L'interprétation des dosages de phosphore nécessite la prise en compte des différents facteurs influençant la fixation et la préservation d'un signal chimique anthropique. Le type de sol, le degré d'érosion, la présence d'une nappe phréatique présente ou passée, le caractère bioturbé de la pédo-séquence sont autant de facteurs pouvant déterminer la quantité de phosphore qui pourra être fixée par l'encaissant et préservée jusqu'à l'intervention des équipes de fouille.

Une partie importante des données recueillies concerne des cartographies du phosphore conduites sur des bâtiments néolithiques et de l'âge du Bronze. Une première synthèse peut dès lors être envisagée pour ces périodes afin de confronter nos premières hypothèses de travail aux données issues de l'activité d'autres chercheurs.

**Mots-clés :** Aménagements architecturaux, phosphore, pédologie, néolithique, âge du Bronze, étable, stockage alimentaire

Over the past 15 years, a large number of buildings and their immediate surroundings have been studied by the authors using soil-analytical approaches in the context of rescue excavations in northern France, Luxemburg, and Belgium. Phosphorus mapping illustrates the logic of building use by indicating the existence of internal partitions, when they existed, or showing the strong anthropogenic nature of the internal surface, mostly related to economic activities (storage, stabling). Finally, they can sometimes more precisely define the extension and shape of the building. To interpret the amounts of phosphate, it is necessary to take into account the different factors that influence the fixing and preservation of the human-made chemical signal. The type of soil, the amount of erosion, the proximity of the past and present water table, the type of substratum, and the biological disturbance of the pedosequence are some of the factors that can determine the quantity of phosphorus that will be fixed by the sediment and preserved until the time of excavation.

For Neolithic and Bronze Age buildings, most of the data are obtained from phosphorus mapping. A first synthesis of these periods can now be compiled to confront our first hypotheses with the results of other researchers.

**Keywords:** architecture, settlement, phosphorus, soil science, Neolithic, Bronze Age, stable, food storage.

La logique fonctionnelle des habitats anciens est souvent mal comprise. De plus, il apparaît à la lecture des publications et à l'écoute des communications récentes que les hypothèses suggérant la présence d'espaces de stabulation sont parfois émises sur la base de critères essentiellement architecturaux, sans profiter de la plus-value qu'offre une approche multi-proxy. Les données issues des sciences de la terre (pédologie, micromorphologie) ou des sciences de la vie (carpologie, anthracologie, archéozoologie, parasitologie, phytolithes, entomologie...) font souvent défaut, alors qu'elles permettent de reconstituer l'environnement associé à un aménagement architectural. Les équipes de fouille y font cependant appel en cas de découvertes exceptionnelles, par exemple lorsque des sols anciens sont préservés (par exemple : Onfray, 2012). Il est pourtant possible d'intégrer ces sciences de façon systématique lors de fouilles où sont mis au jour des bâtiments ou des habitats, même partiellement érodés.

Les cartographies d'éléments chimiques (P, Fe, C, K, Mg, Na) sont à ce titre envisageables sur de nombreux sites. L'élément le plus souvent cartographié est le phosphore car il nous sert d'indicateur privilégié pour repérer l'anthropisation d'un milieu et sa cause. Cette méthode de diagnostic permet de préciser l'environnement fonctionnel d'un habitat ou d'un aménagement architectural. Il s'agit d'une approche peu coûteuse, applicable sur la plupart des sites. L'échantillonnage peut être réalisé tant sur un sol d'occupation préservé que sur le sommet de la séquence naturelle ou encore dans des structures en creux. La campagne de prélèvements doit néanmoins être réalisée par un pédologue car le type de sol, le degré d'érosion, la présence d'une nappe phréatique présente ou passée et le caractère bioturbé de la pédo-séquence sont autant de facteurs parfois peu évidents et essentiels pour déterminer la quantité de phosphore qui a pu être fixée par l'encaissant et préservée jusqu'à l'intervention des équipes de fouille.

Nous ne reviendrons pas en détail sur la méthodologie de base déjà publiée dans d'autres articles (Fechner *et al.*, 2004 ; Devos *et al.*, 2011 ; Fechner *et al.*, 2011 ; Broes *et al.*, 2013). Nous présenterons cependant la méthode propre à l'étude du phosphore, puis les différents facteurs limitant les possibilités d'intervention sur site. Cela est fait à l'aide des cas qui illustrent le mieux ce propos, qu'ils soient néolithiques ou de l'âge du Bronze, en présentant les données recueillies et les interprétations proposées. Pour les données chiffrées des analyses, nous renvoyons à Fechner *et al.* (2011) et Fechner *et al.* (à paraître), enfin aux rapports et publications des sites renseignés au fur et à mesure. La **figure 1** regroupe les autres informations essentielles pour les sites mentionnés, la **figure 2** présente la carte de ces sites. Pour les termes pédologiques (luvisol, podzol, vertisol, fluvisol et cambisol, horizons Bt, E,...), nous renvoyons aux directives descriptives des sols de la Food and Agriculture Organization of United Nations (Jahn *et al.* 2006).

## MÉTHODE

Le phosphore est l'élément chimique qui, par expérience, reflète le mieux l'anthropisation d'un sol ou d'une pédo-séquence dans la région étudiée (par exemple : Bazile et Clotuche, 2011 ; Clotuche et Bazile, 2006). Il est issu de la dégradation de matières organiques (excréments, végétaux) ou de biominéraux (coquilles, ossements).

L'origine ancienne d'un enrichissement doit être confirmée par la corrélation entre la répartition de la pollution et les traces archéologiques. Les cartographies du phosphore sont réalisées en deux temps. D'abord, une phase de tests permettant de confirmer la préservation de l'enregistrement chimique, puis une phase d'analyses chiffrées qui permet de proposer des hypothèses quant à l'origine des accumulations de phosphore.

### Tests de phosphore (Ptest)

La méthode utilisée lors de la phase de tests préalables aux analyses applique le protocole établi par Robert Eidt (Eidt, 1984) qui permet de traiter une grande quantité d'échantillons rapidement et à faible coût. Cela encourage leur systématisation. Les échantillons destinés à ces observations doivent être séchés à l'abri des poussières et des autres sources de pollutions potentielles. L'important est que l'ensemble des échantillons traités présente des degrés d'humidité semblables.

Pour chaque échantillon, plusieurs fragments de sédiment sont alors sélectionnés. Ils doivent être homogènes et caractéristiques du prélèvement. Ces morceaux doivent être émiettés et surtout mélangés sur un papier-filtre, afin d'éviter l'«effet pépite», lié à une provenance trop ponctuelle au sein de l'échantillon.

Les tests nécessitent trois réactifs : le premier permet la libération du phosphore (molybdate d'ammonium en milieu acide) ; le second permet la formation d'un précipité bleu issu du phosphore libéré (acide ascorbique) ; le dernier permet de stopper le processus afin de donner un temps de réaction identique aux différents échantillons (tri-sodium citrate).

Après avoir réalisé l'attaque chimique, les filtres sont ordonnés par classes de plus ou moins forte coloration, et cela, en tenant compte tant de l'intensité des couleurs que de leur étendue. Plusieurs reclassements sont généralement nécessaires avant d'arriver à une séparation en groupes, définitive et satisfaisante.

Les résultats sont alors reportés sur le plan de fouille afin de permettre une corrélation avec l'environnement archéologique.

Nous ne considérons pas la phase de tests de phosphore comme une méthode quantitative qui serait à même de livrer des valeurs absolues de taux de phosphore en fonction des tâches observées. Il s'agit plutôt d'une méthode relative qui permet de comparer les résultats obtenus au sein d'un site ou au sein d'une même série de tests. Cette dernière peut, elle, reprendre plusieurs sites aux conditions pédologiques comparables.

Néolithique ancien	Néolithique moyen I et II	Néolithique final	Âge du Bronze
Alleur « Domaine militaire » (prov. de Liège, B)***, RO J-P. Marchal	Dampierre-le-Château « Liévaux » (Marne, F)*, RO F. Dugois, K. Reynaud	Aire-sur-la-Lys «Z.A.C. Saint-Martin » (Pas-de-Calais, F, 2)***, RO Y. Lorin	Eterpigny « Les Croix noires » (Somme, F)***, RO D. Lamotte
Altewies « Op dem Boesch » (L)**, RO C. Jost, A. Hauzeur	Lantremange « Rue de Limbourg » (prov. de Liège, B)***, RO J.P. Marchal, N. De Beukeleer	Arques « Porte multimodale de l'Aa » (Pas-de-Calais, F)***, RO E. Elleboode	Maroeuil « Les Capucines » (Pas-de-Calais, F)***, RO Y. Lorin
Fexhe-le-Haut-Clocher « Podri l'Corti » (prov. de Liège, B)***, RO D. Bosquet, H. Fock	Ruitz « Z.I. des Hallots » (Pas-de-Calais, F)**, RO E. Martial	Baisieux «Rue de la Mairie » (Nord, F, 2)***, RO E. Martial	Quiévrechain « Les Vanneaux » (Nord, F)***, RO A. Henton
Pont-sur-Seine/ Marnay-sur-Seine « La Gravière » = I (Aube, F)*, RO S. Fourmand	Villers-Carbonnel « La Sole d'Haplincourt » (Somme, F)**, RO F. Bostyn	Braine l'Alleud « Le Bosquet del Vau » (prov. du Brabant wallon, B, 2)***, RO F. Heller	Thillois « La Croix Rouge » (Marne, F)***, RO V. Riquier
Ormeignies « Piloni » (prov. de Hainaut, B)***, RO A. Livingstone –Smith, D. Bosquet		Lauwin-Planque « Z.A.C. Les Hussards » (Pas-de-Calais, F, 2)***, RO E. Leroy-Langelin, M. Julien	
Remerschen « Schengerwis » (L)***, RO F. Le Brun Ricalens, A. Hauzeur, I. Jadin		Provin « Rue Pasteur » (F)***/****, RO V. Bak	
		Rebreuve-Ranchicourt « Le Mont » (Pas-de-Calais, F, 3)***, RO E. Panloups	
		Sauchy-Lestrée «Mont des Trois Pensées » 2009 = I (Pas-de-Calais, F, 3) ***/****, RO A. Amposta, E. Martial	

Figure 1 - Corpus des sites mentionnés dans ce texte. Les astérisques précisent le caractère carbonaté ou non de la pédo-séquence de référence des différents sites : \*Non ou à peine décarbonatée (<0,25 cm). \*\*Décarbonatée superficiellement (<1 m). \*\*\*Profondément décarbonatée (>1 m). RO = responsable d'opération (réalisation : K. Fechner).

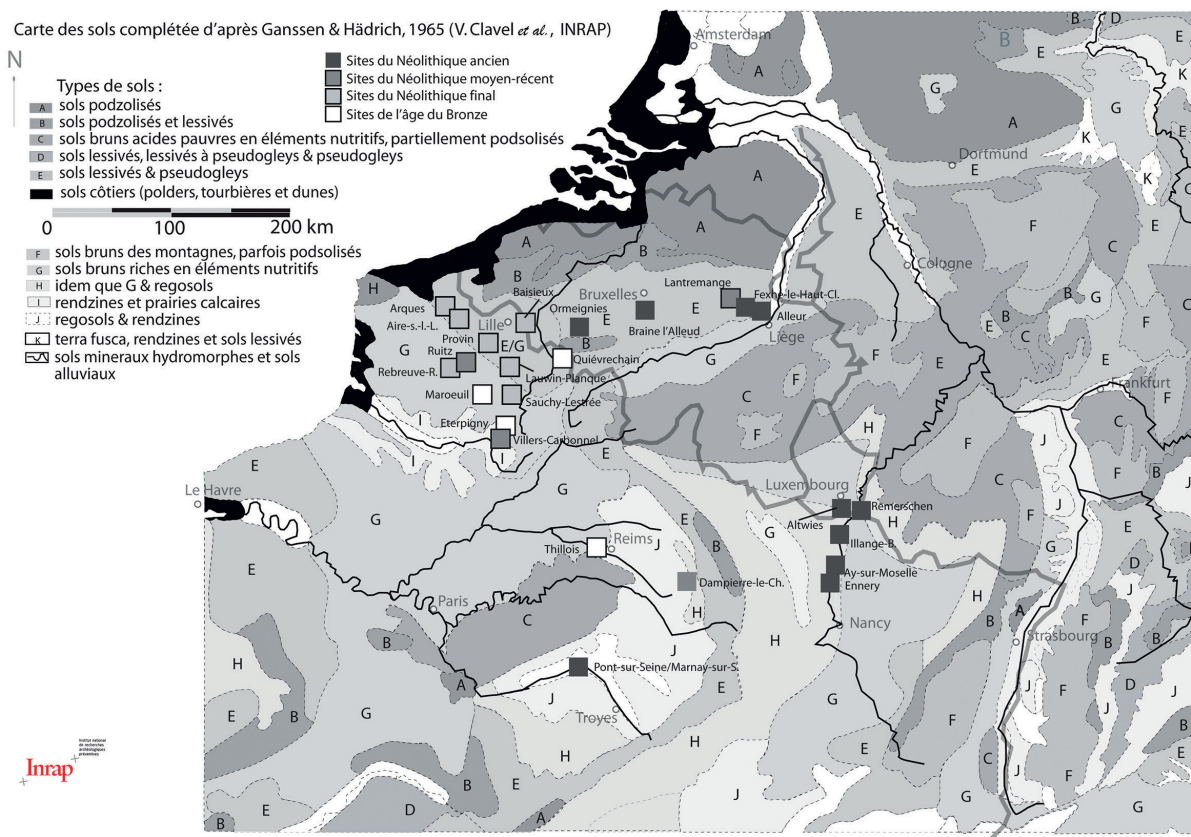


Figure 2 - Carte de répartition des sites étudiés, replacés sur une carte des sols simplifiée. Cel permet d'illustrer la variabilité des sols et de leurs impacts sur les cartographies proposées (réalisation : V. Clavel, Y. Créteur, D. Bossut, Y. Devos, K. et G. Fechner).

## Quantification du phosphore

À l'issue de cette phase d'évaluation, si des corrélations fortes apparaissent entre les accumulations de phosphore et le plan des structures archéologiques, des analyses chiffrées de phosphate ( $P_2O_5$ ) sont proposées. Ces analyses sont alors confiées aux laboratoires de l'Université de Gand ou de Tours qui utilisent la méthode Mikkelsen (Mikkelsen, 1997 ; Liard, 2009), permettant de définir les parts respectives du phosphate inorganique (Pinorg) et du phosphate organique (Porg) dans l'échantillon. Cette méthode n'attaque que la partie non structurale du phosphore présent dans l'échantillon (Lienemann et Gebhardt, 1985), contrairement à la méthode normalisée AFNOR X<sub>31-151</sub> (AFNOR X<sub>31-151</sub>, 1993) qui extrait plus de 90 % du phosphore compris dans l'échantillon en extrayant également le phosphore structurel (compris dans la molécule de minéraux tels que la craie phosphatée). Ce choix découle du fait que les études utilisant le protocole AFNOR X<sub>31-151</sub> portent sur des sols acides incluant peu de phosphore structurel (par exemple : des podzols), alors que la plupart des sols concernés par notre étude (luvisols sur loëss et rendzines) peuvent contenir plus de phosphore structurel. Il est important pour notre étude de ne pas atteindre ce phosphore structurel, si nous voulons permettre la corrélation des résultats entre différents sites de notre corpus.

Les résultats chiffrés obtenus sont alors confrontés aux conclusions de l'étude pédologique (l'observation d'indices de terrain internes et externes aux structures, autres analyses du sol, à réaliser également sur les profils de référence). Cela permet de comprendre comment ces teneurs en phosphore ont été influencées par l'érosion, la bioturbation et les caractéristiques pédologiques (type de sol, pH, drainage, capacité d'échange cationique, matière organique), ce qui est indispensable pour pouvoir interpréter les résultats obtenus.

Les analyses chiffrées sont exprimées en termes de concentration du sédiment en phosphate total (Ptot, extraction à l'acide sulfurique). Cette donnée reprend la valeur mesurée de phosphate inorganique (Pinorg) d'une part, et la valeur calculée de phosphate organique (Porg) d'autre part.

Notons que la plupart de nos échantillons proviennent d'horizons du sous-sol (Bt, Bw). Ces horizons sont donc naturellement peu humifères et n'incluent normalement qu'une faible fraction de Porg (max. 300 ppm). Un site qui présente un fort enrichissement en phosphate organique est, par conséquent, le plus souvent impacté par des apports récents en matière organique.

Une valeur restituée du phosphate total (Ptotr) est utile et tient en partie compte de cette fraction organique. En effet, une partie de la teneur en phosphate organique est issue d'un équilibre entre Pinorg et Porg dans le sol (Proudfoot, 1976). Par conséquent, on ne peut considérer l'entièreté du Porg, même dans un milieu ayant subi des enrichissements récents, comme une contamination moderne. Cette partie ancienne du Porg est en effet représentative d'une accumulation ancienne

et doit être intégrée à une valeur de Ptot afin d'interpréter au mieux nos résultats. La valeur Ptotr permet donc de coller au mieux à une réalité archéologique. Elle sera formée par la valeur de la teneur en phosphate inorganique additionnée de la valeur de la médiane des concentrations en phosphate organique des zones les moins impactées par l'agriculture (on y exclue les remplissages archéologiques humifères, les colluvions et les labours sus-jacents au niveau d'occupation).

## Représentativité des données

Les concentrations en phosphore obtenues sur base d'échantillons provenant du sous-sol sont évidemment inférieures à ce qu'elles étaient à l'origine dans l'horizon de surface.

L'interprétation des données chiffrées est rendue possible par l'établissement d'un double corpus de référence. D'abord sur base des observations réalisées sur des sites de référence pour lesquels des données chimiques sont couplées avec des traits pédologiques caractéristiques, tel que le piétement par des grands mammifères, ou des données significatives des sciences naturelles (parasitologie, carpologie, anthracologie, phytolithes). Il s'agit par conséquent de sites pour lesquels des activités liées à l'élevage, au stockage de végétaux, au rouissage, à la manipulation d'ossements ou encore à la préparation de repas sont soutenues par de larges faisceaux d'indices concordants. Ensuite sur une série d'expérimentations et de prélèvements réalisés en milieu agricole moderne (Broes *et al.*, à paraître).

## EXEMPLES MÉTHODOLOGIQUES

Les différents exemples présentés ci-dessous illustrent les facteurs qui limitent la fixation ou modifient la préservation de l'enregistrement du phosphore anthropique dans la pédo-séquence (Langohr, 1994 ; Langohr, 2001 ; Devos *et al.*, 2011).

### Prise en compte de l'impact de la bioturbation : une dispersion du phosphore

La perturbation de notre surface de prélèvement, par des remaniements biologiques postérieurs (animaux fouisseurs, racines) a pour effet d'intégrer le phosphore hérité des activités anthropiques dans un plus grand volume de sol qu'au moment de la précipitation de phosphore initiale. Cela a pour conséquence logique d'y diminuer proportionnellement les dosages obtenus en laboratoire par un effet de dilution (figure 3) (p. ex. : Saint-Brice-sous-Forêt, Broes *et al.*, 2013 ; 2015, Fechner, 2011, Rouppert *et al.*, 2009 ; Rouppert *et al.*, 2011).



Un corolaire intéressant de cette intégration profonde du phosphore dans la pédo-séquence est le suivant : en permettant la préservation d'un signal chimique sur l'épaisseur de sol importante, la bioturbation rend possible une cartographie du phosphore sur un terrain quand bien même celui-ci est partiellement érodé.

Le site de Ruitz dans le Pas-de-Calais (figures 3-4 ; tab. 1 ; Fechner 2016a) témoigne de l'impact de la bioturbation sur les taux de phosphore mesuré. L'occupation, datée du Néolithique moyen II, est implantée sur un luvisol peu épais sur des argiles de décalcification de la craie sous-jacente.

Les taux de phosphore mesuré dans la partie interne assurée des aménagements architecturaux vont de 750 à 1050 ppm de Ptot. Les taux sont « anormalement » bas pour ce type de sol car ils sont inférieurs à la valeur moyenne du bruit de fond naturel. Les profils de référence réalisés sur le site (figures 3-4) confirment le caractère bioturbé de la surface de prélèvement (B22tbi). Par conséquent, bien que le site de Ruitz soit moins sableux et moins profondément bioturbé que certains autres sites plus récents, les taux mesurés ne peuvent pour autant être comparés directement aux données provenant de sites peu bioturbés. Dans ce cas, il aurait également été nécessaire de passer par une phase de calcul de la concentration en phosphore par unité de volume, ce qui aurait impliqué un mode de prélèvement différent.

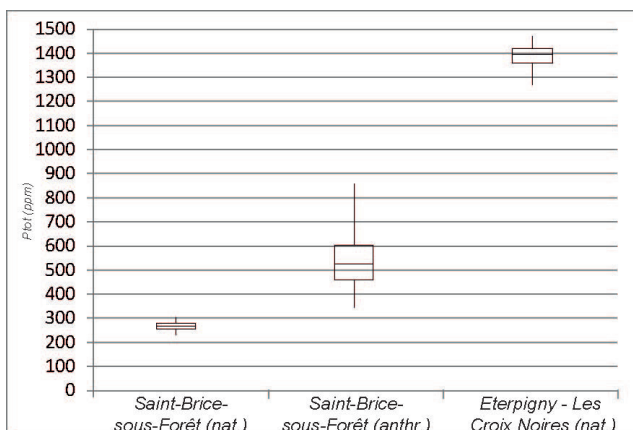


Figure 3 - Comparaison des valeurs mesurées de Ptot naturel pour des sites sur luvisol peu bioturbé (Eterpigny - Bronze - La Tène) et pour des sites sur luvisol fortement bioturbé (Saint-Brice-sous-Forêt - Gallo-Romain). Notons que pour le site de Saint-Brice-sous-Forêt, les taux associés aux activités d'élevage (anthr.), bien distincts du bruit de fond naturel (nat.), sont bien moins importants que le bruit de fond naturel mesuré sur le site d'Eterpigny, peu bioturbé. On remarquera également que les données issues de milieux anthropisés sont plus dispersées que les données provenant de milieux « naturels » (selon Tukey, 1997; réalisation : F. Broes).

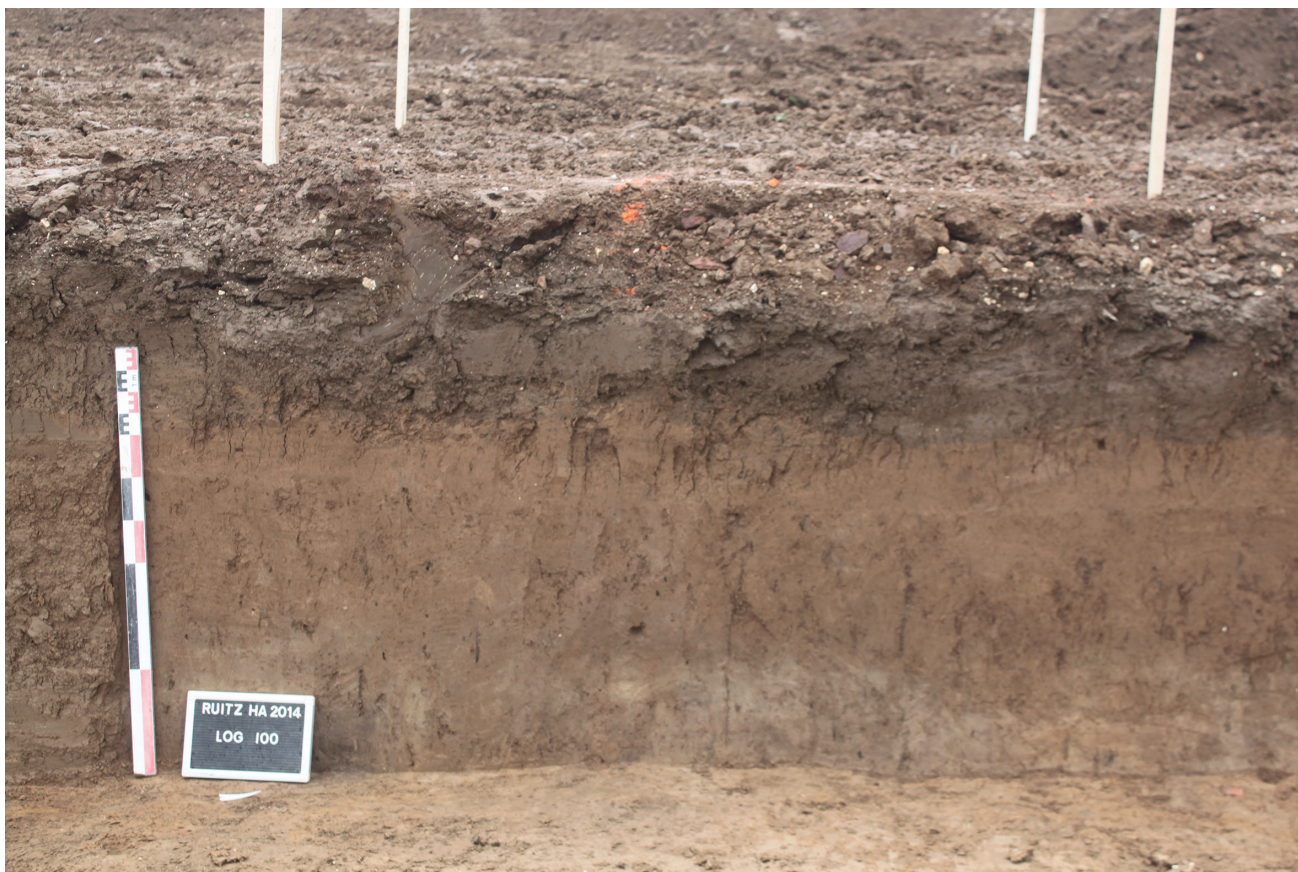


Figure 4 - Vue du profil de référence log100 du site de Ruitz. Sous les colluvions, à -50 cm, les restes d'anciens horizons de surface sont bioturbés, à la limite inférieure irrégulière et graduelle (photographie : K. Fechner).

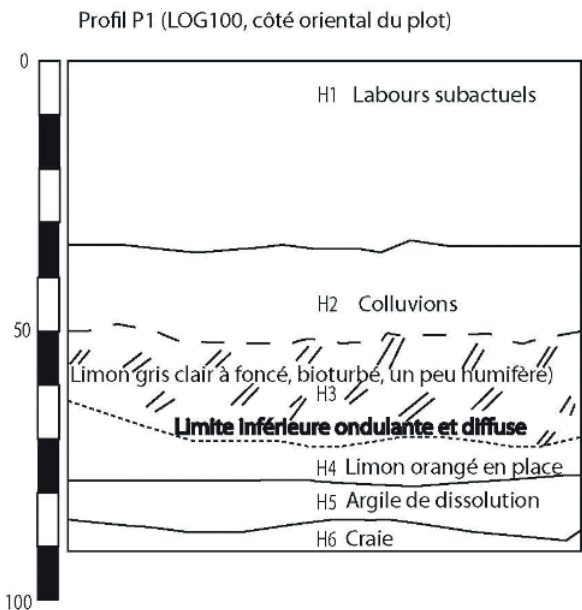


Figure 5 - Relevé du profil de référence log100. A noter la forte bioturbation du sommet du sol en place limoneux et la faible profondeur du substrat géologique (réalisation : K. Fechner).

Néanmoins, en tenant compte de cette bioturbation et sur la base des comparaisons de l'ensemble des analyses de sites comparables, le pédologue reconstitue une très faible anthropisation de l'unité architecturale étudiée sur ce site. Cela suggère un enrichissement en phosphore lié à des activités domestiques et non à des activités plus polluantes. L'emplacement et l'orientation exacts de ce bâtiment sont difficiles à préciser (tranchée de fondation soit interne soit en bordure de celui-ci). Néanmoins les très nombreux tests, à travers tout le site, et les quelques analyses, ciblées sur la zone des tranchées de fondation, coïncident pour conclure qu'il n'y a eu ni excréments ni autres pollutions fortes dans les zones étudiées.

Les sites laténien et gallo-romain de Savigny-le-Temple (Seine-et-Marne, RO : Jean Bruant, Inrap) et gallo-romain de Saint-Brice sous-Forêt (Val d'Oise, RO : V. Rouppert, Inrap) illustrent aussi l'impact que peut avoir une forte bioturbation sur une pédo-séquence (Fechner, 2011 ; Rouppert *et al.*, 2011 ; Broes *et al.*, en préparation).

**Prise en compte de l'impact de l'érosion : une perte de l'enregistrement chimique**

La perte des niveaux de sols d'occupation anciens (horizons A) est une chose courante. La plupart des surfaces décapées ne nous permettent que l'accès aux horizons sous-jacents. Nous parvenons néanmoins à approcher les valeurs originelles des horizons de surface sur la base des taux observés sur ces horizons Bt ou B lorsque le taux d'érosion n'excède pas 0,10 à 0,60 m d'épaisseur, selon le type de sol.

L'érosion importante d'un site archéologique pose problème car la perte du sédiment porteur de l'information chimique empêche la réalisation de cartographies du phosphore sur la surface décapée. Cette érosion peut être due à des facteurs topographiques (surface en pente d'un champs, d'un habitat, d'un chemin, ...) comme à des facteurs humains (terrassement, ...).

Dans la plupart des cas, ce type de biais peut facilement être mis évidence par l'étude pédologique préliminaire à la cartographie du phosphore. Les profils de référence montreront, en cas d'érosion, qu'un même horizon voit sa puissance varier de profil en profil.

Le site de Lantremange « Rue de Limbourg » (figures 6-7, Marchal *et al.*, 2004 ; Fechner *et al.*, 2011), situé dans la province de Liège, est affecté par ce type de phénomène. L'occupation, datée du Néolithique moyen-récent, est implantée en bord de plateau de la vallée du Geer, sur un luvisol développé sur des loëss. Notre étude s'est attachée à l'établissement de l'environnement fonctionnel d'un aménagement architectural localisé en bord de plateau. La moitié orientale de ce bâtiment était située sur le plateau alors que la moitié sud était engagée sur une faible pente. La cartographie des tests de phosphore (figure 6) a montré que seule la moitié nord du bâtiment permettait la corrélation entre les données chimiques et le plan archéologique. La moitié

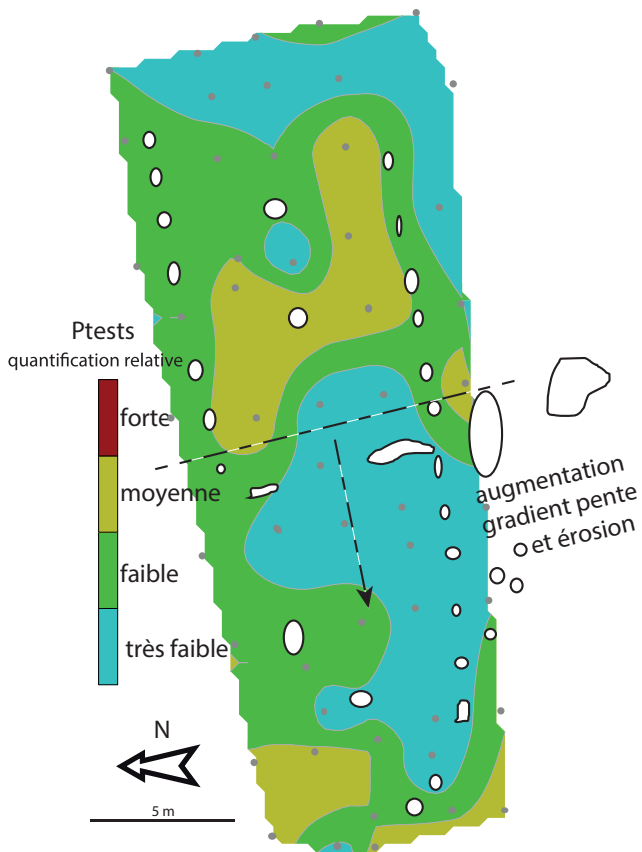


Figure 6 - Résultats interpolés des tests de phosphore (Ptest) pour le site de Lantremange - Rue de Limbourg (réalisation : F. Broes).

occidentale, partiellement érodée, ne permettait pas de distinguer entre les espaces internes et externes du bâtiment. De plus, des accumulations localisées et hétérogènes marquaient cette zone occidentale car l'érosion y avait fait affleurer l'horizon B23t. Du fait que cet horizon contenait du phosphore ancien naturel ou progressivement accumulé par infiltrations depuis la surface, la cartographie des tests de phosphore dans cette moitié occidentale délimitait plus l'apparition du B23t que l'activité humaine ancienne.

La moitié orientale bien préservée, par contre, a montré que l'espace interne du bâtiment était plus riche en phosphore que l'espace externe proche. Les taux mesurés ont confirmé cette observation. Le transect d'échantillons analysés (figure 7) dans cette moitié orientale du bâtiment suggère un enrichissement en phosphore lié à des activités domestiques et non à des activités plus polluantes. Il pourrait aussi favoriser le scénario d'un plan de bâtiment plus court à son extrémité orientale. En effet, le long de l'axe septentrional, les trous de poteaux qui prolongent ce plan vers l'est ne sont plus longés par cet enrichissement relatif en phosphore (figures 6-7 : traits pointillés).

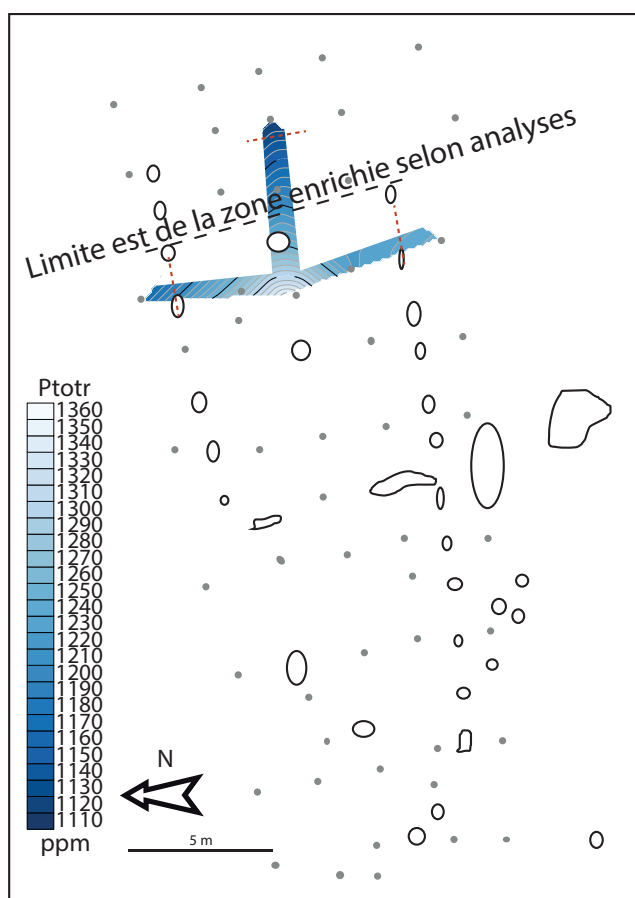


Figure 7 - Résultats des analyses de phosphate total (Ptot) pour le site de Lantremange (réalisation : F. Broes).

Cet exemple montre que la cartographie du phosphore peut également permettre la mise en évidence d'aménagements architecturaux sur la seule base de leur empreinte chimique dans le substrat quand l'information archéologique est défaillante, incomplète, ou que les techniques de construction adoptées sur le site ne laissent que peu ou pas de traces visibles au décapage.

Les bâtiments du Néolithique ancien de Fexhe-le-Haut-Clocher (Liège, Belgique, *infra*) et du Hallstatt de Sauchy-Lestrée « Le Grotin » (Pas de Calais, RO: David Desforges, Inrap, Hulin *et al.*, 2012 : fig. 2-3) sont des cas particulièrement évocateurs à ce titre. On peut également observer l'effet de l'érosion sur un enregistrement chimique à l'échelle d'un plus long versant, par exemple sur le site hallstattien de Sauchy-Lestrée « Le Mont des Trois Pensées » et « La Plaine du Renard » (RO : Gilles Prilaux, Sabrina Sarrazin, Inrap), situé dans le Pas-de-Calais (Broes *et al.*, à paraître).

Quand la donnée chimique a totalement disparu au niveau de la surface du décapage de la fouille, il reste néanmoins des endroits dans lesquels l'enregistrement pourrait avoir été préservé. Pour les aménagements architecturaux, il s'agit essentiellement du comblement des trous de poteaux ou des tranchées de fondation.

L'établissement d'une cartographie du phosphore sur base d'un échantillonnage réalisé dans le remplissage de structures en creux doit être envisagé avec davantage de prudence, car celle-ci est confrontée à trois problèmes. D'abord, il est nécessaire de corréliser la stratigraphie de la structure avec la pédo-séquence originelle afin de s'assurer que le niveau de comblement étudié reflète bien la phase d'utilisation de la surface de sol visée par la cartographie du phosphore (Reynolds, 1995). Ensuite, il faut estimer l'impact des dépôts postérieurs au niveau étudié sur sa concentration en phosphore. Enfin, il est important de déterminer si le trou de poteaux a connu des conditions d'hydromorphie susceptibles d'avoir mobilisé et déplacé le phosphore dans ou à côté de la séquence de comblement de celui-ci, voire dans le profil sous-jacent.

Le site du Néolithique ancien de Pont-sur-Seine/ Marnay-sur-Seine (Fournand *et al.*, 2010) situé dans l'Aube a nécessité l'intégration de données provenant de structures en creux afin de compléter une cartographie du phosphore partiellement amputée par les sur-décapages du diagnostic (Fechner *et al.*, 2011 : fig. 6). Le bâtiment est implanté dans la vallée de la Seine, sur des alluvions limoneuses anciennes de ce fleuve. La cartographie du phosphore produite a permis de restituer une image globale de la logique fonctionnelle du bâtiment. On observe ainsi que la partie ouest du bâtiment est bien plus enrichie en phosphore que le reste de l'espace interne. Les taux mesurés dans les trous de poteaux de cette zone sont particulièrement élevés allant de 1730 à 3214 ppm de Ptot. Il s'agit par conséquent d'une section de l'aménagement architectural ayant accueilli de grandes quantités de phosphore.



Ces accumulations localisées ont également été mises en évidence dans quelques bâtiments du Néolithique ancien de Moyenne Belgique et du Grand-duché de Luxembourg. Pour ces bâtiments une hypothèse liée à des accumulations de matières fécales a été proposée (Fechner *et al.*, 2007 ; Fechner *et al.*, 2011).

Le site du Néolithique moyen de Villers-Carbonnel (figure 8, Bostyn, 2014), situé dans la Somme, a vu l'entière de la cartographie du phosphore d'un bâtiment basée sur des prélèvements issus de trous de poteaux et de fosses. Le bâtiment est localisé sur un versant marqué de la vallée de la Somme. Le niveau de décapage est, dans cette zone, constitué par un glacis de silex surmontant une argile de décalcification orangée qui forme des poches dans un banc de craie disloquée. Ce type de substrat argileux ne favorise pas la pénétration du phosphore dans la pédoséquence. Une fois le niveau de surface ancien perdu, l'information chimique ne peut être recherchée que dans les structures en creux préservées de l'érosion.

L'échantillonnage des structures en creux nécessite la réalisation de séquences de prélèvements afin de déterminer la concentration en phosphore de chacun des niveaux des comblements. Il faut ensuite réaliser un travail de corrélation entre les niveaux des comblements et les horizons de surface. Il nous faut également nous assurer que les comblements des structures en creux n'ont pas été exposés à des phénomènes post-dépositionnels susceptibles de remobiliser le phosphore archéologique.

Les données ainsi recueillies permettent de reconstituer l'environnement fonctionnel d'un bâtiment. Un premier apport des tests a été de préciser les limites du bâtiment vers le sud-ouest et de confirmer celles des trois autres côtés. La nature de ces pollutions anciennes est, elle, discutée en se basant sur les analyses. Dans le cas du bâtiment de Villers-Carbonnel, on observe que l'environnement interne de l'aménagement architectural est moins enrichi en phosphore que ses parois et que son environnement extérieur proche (figure 8). Les taux extérieurs atteignent les 3500 ppm de Ptot. Ces taux, mesurés dans des comblements humifères et non dans le sous-sol, indiquent un enrichissement moyen de l'espace externe. En effet, sur une argile, en comparant l'ensemble des analyses de notre base de données, on doit atteindre 4000, voire 5000 ppm pour attester d'un enrichissement marqué de phosphore (Fechner *et al.*, 2014 : ill. 21 ; Fechner *et al.*, à paraître). Il est donc peu probable que des activités liées aux excréments ou à l'élevage aient été abritées par ces zones extérieures. Les taux intérieurs, encore moins élevés, sont cohérents avec une hypothèse d'espace domestique entretenu.

### Prise en compte de l'impact de la pédogenèse : une fixation différentielle

La capacité d'un substrat à fixer le phosphore et sa distribution verticale dans la pédo-séquence varient en fonction du type de sol que ce soit la pédogenèse antérieure ou postérieure à la précipitation chimique

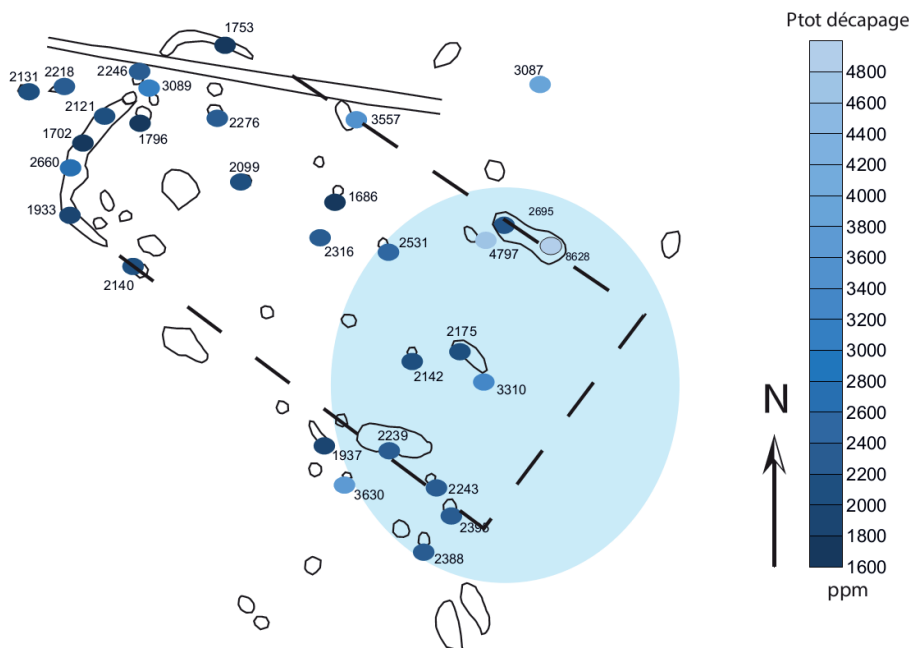


Figure 8 - Résultats des analyses de phosphate total (Ptot) dans les structures en creux du bâtiment de Villers-Carbonnel. En bleu clair : zone la plus enrichie en phosphore, surtout marquée dans les structures extérieures au bâtiment; réalisation : F. Broes.

En effet, des caractéristiques telles que la quantité de matière organique, le pH, la qualité du drainage ou encore la capacité d'échange cationique (CEC) sont déterminantes pour la fixation du phosphore par le substrat (Devos *et al.*, 2011). Ces facteurs varient fortement entre les différents types de la classification de sols et entre les différents horizons qui les composent. Les concentrations de phosphore mesurées à un endroit donné de la pédo-séquence peuvent par conséquent fortement varier pour une quantité initiale de phosphore identique.

Un substrat crayeux développé en rendzine fixera l'essentiel du phosphore libéré dans l'environnement à la surface de la pédo-séquence. Une faible érosion aura dans ce cas un impact destructeur important sur l'enregistrement du signal phosphore (Macphail *et al.*, 2004). Cela est également vrai pour les sols argileux (cambisols, vertisols ou encore fluvisols argileux).

Un matériau lœssique décarbonaté et développé en luvisol permettra au phosphore de pénétrer plus profondément dans la pédo-séquence. Une destruction par labours ou érosion des horizons du haut de la séquence (A/E/B21t) laisse intacte une partie de l'information que nous pouvons exploiter dans l'horizon sous-jacent (B22t).

Un substrat sableux acide à peu calcaire ne permet qu'une faible fixation du phosphore dans la pédo-séquence. Celui-ci peut par conséquent être entraîné profondément dans le profil, mais sans généralement être totalement lessivé.

Le corolaire évident est que les taux mesurés dans une rendzine ou un cambisol, bien conservés, seront plus proches des taux initiaux que ceux mesurés dans un podzol développé sur des sables acides ou divers sols développés sur sable plus calcaire, ou encore dans un luvisol.

Sur le site Néolithique ancien d'« Altwies » (Remich, Grand Duché de Luxembourg, Hauzeur, 2003 ; Fechner *et al.*, 2007 ; Fechner *et al.*, 2011) l'implantation sur un limon très argileux, avec un taux d'argile élevé (taux d'argile : 33-35%), a dû contribuer à créer de plus fortes retentions en eau et donc en phosphore. Néanmoins, sur base de la susceptibilité magnétique et des comparaisons des analyses entre divers sites plus argileux, le pédologue reconstitue une forte anthropisation de la très grande unité architecturale M7 étudiée sur ce site. Dans une des extrémités du bâtiment, cela suggère un enrichissement en phosphore lié à des activités très polluantes et à des matières organiques et non à de simples activités domestiques. Rappelons que ce site d'« Altwies », particulièrement bien documenté et publié ailleurs (Hauzeur, 2003 ; Fechner *et al.*, 2007 ; Fechner *et al.*, 2011) montre non seulement une zone de chevet (bâtiment M7) entièrement couverte de ces valeurs hautes de phosphore, mais aussi des différenciations internes longitudinales dans le reste du bâtiment (axe longitudinale centrale plus pauvre).

La comparaison des concentrations de phosphore sur l'ensemble de nos sites confirme que tant les argiles que les

craies présentent une capacité de fixation du phosphore bien supérieure à celle des limons et des sables. Dans une moindre mesure, les limons ou sables très calcaires peuvent à leur tour être plus ou moins influencés par les traces de craie qui les affectent, notamment dans les sites que nous avons traités. Si les cas étudiés sont encore peu nombreux et marqués par une grande diversité de sols encaissants, on peut néanmoins proposer certaines balises (Fechner *et al.*, 2014, à paraître). Dans tous ces sites, on distingue les structures à faible enrichissement en phosphore (1000-3000 ppm) de celles avec activités particulièrement polluantes (plus de 4000 ou 5000, voir plus de 7000 ppm), parfois précisée par d'autres approches telles que la parasitologie, la susceptibilité magnétique, la micromorphologie (...). Ces comparaisons de sites aux sols crayeux et argileux permettent de relativiser les enrichissements que l'on pourrait trouver exceptionnels et qui se situent aux alentours de 2000-3000 ppm, que ce soit à Villers-Carbonnel (*cf. supra*, sur craie et argile) ou, par exemple, dans une partie des bâtiments et de l'enclos laténien de Champfleury (Fechner, 2011, sur craie et argile).

Le bâtiment du Néolithique ancien de Fexhe-le-Haut-Clocher (Bosquet *et al.* 1999 ; Fechner *et al.* 2007 ; Fechner *et al.*, 2011) est situé sur des sols similaires à ceux de la plupart des sites du Pas-de-Calais. Il a fait l'objet de récentes cartographies plus adaptées à sa complexité (figure 9), permettant son exploitation plus approfondie. Cette nouvelle présentation confirme pleinement un net enrichissement d'une des extrémités. Les enrichissements en phosphore de la partie renforcée du bâtiment atteignent les 2050 ppm de phosphate total, ce qui est compatible avec des activités polluantes telles que l'accumulation d'excréments ou la stabulation. Le traitement statistique des données (Devos, 2005) permet aussi de renforcer cette argumentation.

Le profil de référence de ce site (figure 10), situé à proximité du bâtiment étudié, montre que la pédo-séquence naturelle est particulièrement bien conservée (restes de l'horizon E). Le profil permet aussi de se rendre compte de l'enrichissement naturel et diachronique de deux horizons sans relation avec le niveau à cartographier. Il s'agit des horizons Bda (B21tda) et B23t. L'horizon B sombre ou Bda (B21tda), légèrement organique et antérieur au Néolithique (Fechner *et al.*, 2015) affleurerait par endroit sur la surface de décapage. Il s'est ainsi avéré que pour les échantillons correspondant à cet horizon, le plus souvent fortement enrichis en phosphore, on observait également une aimantation plus importante. La présence de ce Bda sur notre surface de travail perturbait par conséquent également la cartographie de la susceptibilité magnétique. L'ensemble des données analytiques (granulométrie, susceptibilité et chimie) sont influencées par la présence du Bda tant au décapage qu'en profil de référence. Le profil de référence montre en effet un pic de phosphore dans l'horizon B23t

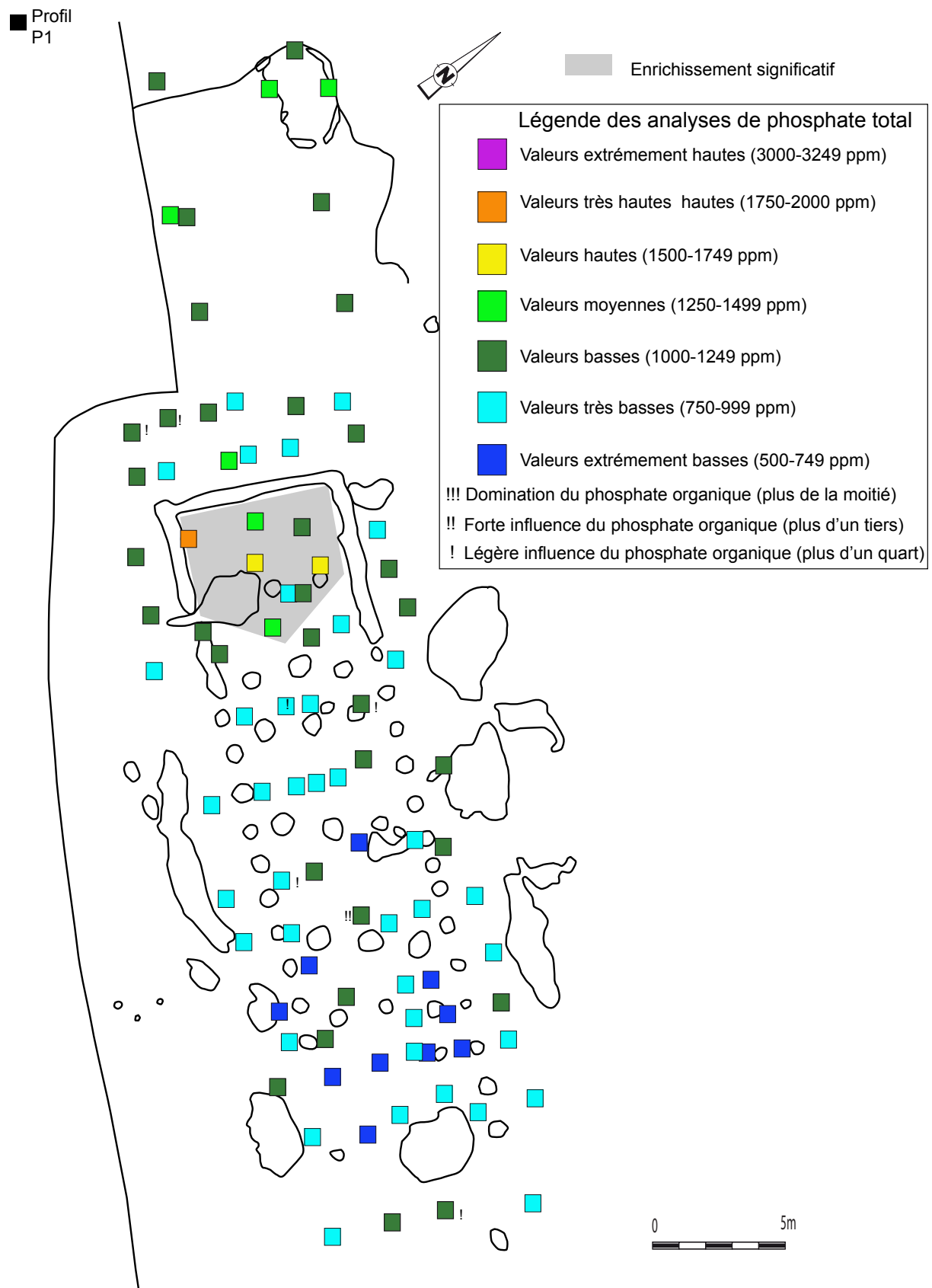


Figure 9 - Résultats des analyses de phosphore dans le bâtiment de Fexhe-le-Haut-Clocher. Les parties en vert clair, mais surtout en jaune et en orange montrent des enrichissements significatifs (réalisation : Viviane Clavel, Kai Fechner).

(entre -125 et -140 cm). On y observe ainsi des taux supérieurs d'argile (27%), de susceptibilité magnétique et de phosphore que dans le reste du B2t (entre -110 et -140 cm). Cela tendrait à associer ce phosphore à la migration d'argile pré-néolithique (surtout tardiglaciaire) en provenance de l'ancien sommet du Bda. Notons que sur les sites pour lesquels on peut suivre spatialement la préservation du Bda, les zones pour lesquelles cet horizon est le mieux préservé correspondent à des profils présentant un B23t peu enrichi en phosphore. L'inverse est aussi observé. Les zones montrant un Bda dégradé présentent un B23t enrichi en phosphore. Ceci tant à soutenir l'hypothèse liant ce phosphore ancien non anthropique et la migration d'argile au sein de la pédoséquence. Les taux de ces horizons profonds ne peuvent par conséquent pas être utilisés pour comprendre la répartition du phosphore dans le bâtiment et ses alentours, car ils sont au moins en partie enrichis à d'autres époques (infiltrations diachroniques et trop variables d'un endroit à l'autre). Les résultats obtenus à Fexhe-le-Haut-Clocher n'ont été couronnés de succès qu'une fois que l'on prenait en compte ces facteurs, en éliminant les endroits influencés par l'horizon Bda. Cette étude permet aussi de démontrer que d'autres sites ou parties de sites plus érodés, atteignant l'horizon B23t, ne peuvent être cartographiés en relation avec les activités de l'homme, même si les tests y semblent positifs.

La confrontation de l'étude des phytolithes et du phosphate total livre d'étonnants résultats préliminaires. Par comparaison avec le profil de référence et à l'horizon de surface actuel du site, au profil de référence dans un sol non érodé à Lincent (Belgique, Liège, Fock *et al.*, 2008) et aux données d'« Alleud » (Belgique, Liège, Marchal, 1998 ; Fechner *et al.*, 2003), les seuls phytolithes qui ne seraient ni modernes ni pré-néolithiques pourraient être les panicoides (des graminées) de deux points situés dans le bâtiment, proches du chevet particulièrement riche en phosphates.

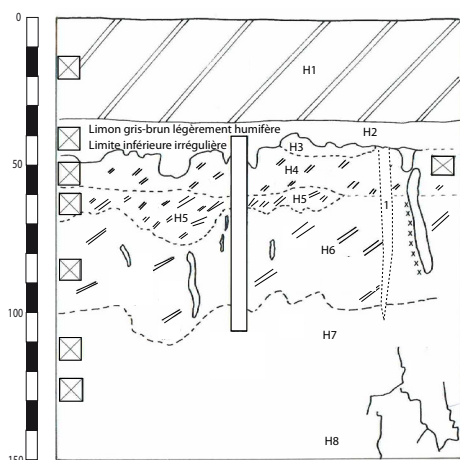


Figure 10 - Relevé du profil de référence P1 de Fexhe-le-Haut-Clocher. A remarquer les restes de l'horizon E de subsurface (en H3) et le recouplement de l'épais horizon Bda (H4-H5) par une probable fissure en '1' (réalisation : K. Fechner).

À l'inverse des sites plus argileux, le site de Braine « L'Alleud », dans la vallée du Hain en Brabant wallon (Belgique ; Heller *et al.*, 2007 ; Fechner *et al.*, 2011 : fig. 11-12) est installé sur des sables un peu limoneux, acides. Ces derniers ont permis le développement d'un sol de type podzol. Les fouilleurs y ont mis au jour un bâtiment du Néolithique final, testé et analysé, avant un second, uniquement testé (Braine « L'Alleud II »).

Les taux observés sont extrêmement bas, à savoir de 150 à 700 ppm de Ptot, à l'intérieur du bâtiment I, et jusqu'à 1125 ppm de Ptot à l'extérieur de celui-ci. Ces valeurs particulièrement basses sont liées au type de substrat qui ne fixe que très peu le phosphore. Les P-tests permettent, eux, de reconstituer un plan rectangulaire ou en abside pour ce bâtiment I et de compléter sur un de ses longs côtés le plan en abside du bâtiment II.

### Prise en compte de l'impact de la variabilité du substrat sur la zone de prélèvement

Les variations de la nature du substrat, et par conséquent de la capacité à fixer le phosphore dans la pédo-séquence, peuvent poser des problèmes d'interprétation des résultats.

Notons également que certains types de roche, comme la craie phosphatée, présentent naturellement du phosphore non anthropique alors que d'autres présentent des accumulations naturelles et diachroniques de phosphore liées au développement pédologique, comme l'horizon B23t d'un luvisol sur loess (*supra*, les sites de Fexhe-le-Haut-Clocher et de Lantremange).

Le site de Dampierre-le-Château « Liévaux » (figure 11, Dugois *et al.*, 2002) situé dans la vallée de l'Yèvre, dans la Marne, a permis la mise au jour d'un bâtiment daté du Néolithique récent implanté partiellement sur une marne (argile carbonatée) et partiellement sur une craie disloquée bioturbée (Fechner *et al.* 2011 : fig. 7).

Les prélèvements réalisés sur la marne ont subi une modification de l'enregistrement chimique alors que les prélèvements effectués sur la craie disloquée bioturbée ont conservé une partie de l'information. C'est ici que l'intérieur du bâtiment s'est avéré être nettement plus enrichi que son environnement extérieur proche.

Par ailleurs, la zone occidentale du bâtiment est située dans l'emprise d'un fond de vallon sec qui a permis la préservation de la base du sol ancien. C'est à cet endroit que l'information est la moins dégradée, même si l'érosion y a enlevé l'horizon de surface de l'époque et n'y a préservé que la zone de bioturbation sous-jacente à celui-ci. La zone orientale, située sur un versant peu marqué, est davantage impactée par les pertes de signal liées à l'érosion, a donc subi la perte d'une partie de l'information. Malgré l'érosion partielle, les taux les plus élevés rencontrés dans



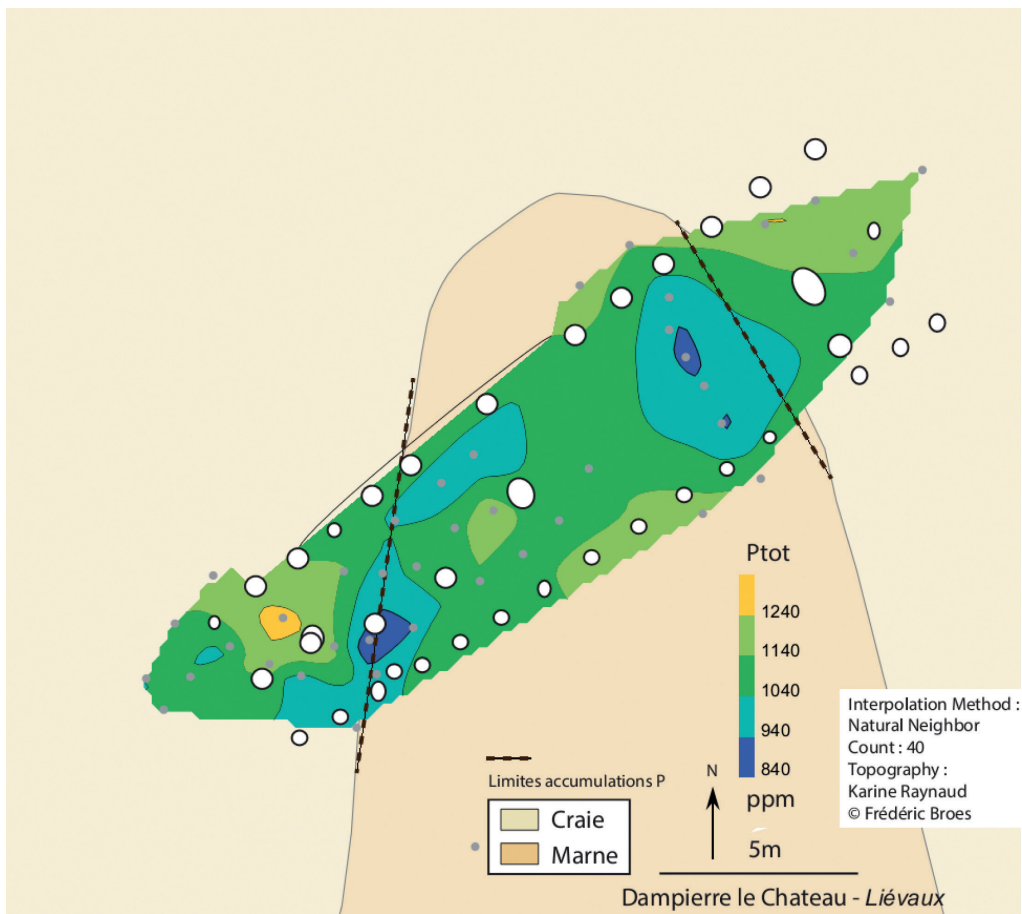


Figure 11 - Résultats interpolés des analyses de phosphore sur le bâtiment de Dampierre-le-Château – Liévaux (réalisation : F. Broes).

le bâtiment peuvent parfois atteindre ceux de la zone de fond de vallon sec mieux préservée. Cela présage de taux qui étaient nettement plus élevés à l'origine dans la zone légèrement érodée où est situé le bâtiment que ce qui ressort des données de laboratoire. Il nous est par conséquent impossible ici de mettre en évidence des partitions fonctionnelles sans tenir compte des variations de substrat et d'érosion.

Les taux de la zone occidentale sont proches de 1475 ppm de Ptot. Ils sont *a priori* trop bas pour pouvoir suggérer la présence d'activités liées à l'élevage sur ce site. Néanmoins, sur la craie, l'impact significatif d'une légère érosion peut être la cause d'un abaissement de ces valeurs. La cartographie de susceptibilité magnétique est parfaitement corrélable à la cartographie du phosphore. Ceci indique que les enrichissements en phosphore de cette partie du bâtiment sont liés à des accumulations de matière organique et très probablement assez élevées à l'origine pour être associées à des excréments. La présence d'une structure de type coupe-vent à cette extrémité pourrait contribuer également à l'hypothèse d'une stabulation dans cette partie du bâtiment (J.-Y. Dufour, comm. pers. : exemple de Saint-Brice-sous-Forêt : Rouppert *et al.*, 2009 ; Rouppert *et al.*, 2011).

Lorsque la capacité de fixation du phosphore est différente selon le substrat, il nous est impossible d'interpréter la cartographie des Ptest sans la diviser en zones de travail correspondant aux différents encaissements.

### PRISE EN COMPTE DE L'IMPACT DE PROCESSUS PHYSICO-CHIMIQUES POST-DÉPOSITIONNELS : LA PRÉSERVATION DE L'ENREGISTREMENT CHIMIQUE EN QUESTION

Une fois le phosphore fixé par le substrat, différents processus susceptibles d'affecter l'enregistrement chimique peuvent se mettre en place.

Les principaux sont une remobilisation du phosphore en condition hydromorphe et une accumulation de phosphore provenant de dépôts postérieurs au niveau à étudier.

## Prise en compte de l'hydromorphie

L'impact d'une nappe phréatique empêche, en général, de proposer une étude chimique. En effet, dans ces conditions, les oxydes et les hydroxydes (dont le phosphate =  $P_2O_5$ ) risquent d'être massivement déplacés verticalement et horizontalement dans la pédo-séquence. Ces déplacements sont essentiellement fonction de la topographie du site et du type de développement du sol (qualité du drainage). On assistera par conséquent, pour un cambisol, à de forts transferts latéraux alors que les transferts seront principalement verticaux pour un luvisol ou un podzol.

Ce biais étant connu (Devos *et al.*, 2011), nous avons évité de réaliser des études sur des sites visiblement affectés par des nappes battantes.

Notons néanmoins qu'une étude récente réalisée en Bourgogne sur le site d'époque historique de Magny-sur-Tille (Côte d'Or, RO : Didier Lamotte, Inrap) suggère que ce facteur de perturbation post-dépositionnel impacte de façon nettement moindre des sols argileux très carbonatés comme les marnes (Broes et Fechner, 2016). Dans ces cas, il est probable que les carbonates retiennent davantage le phosphore (*supra*).

## Prise en compte des accumulations postérieures au niveau étudié

Ce cas de figure se présente notamment dans des structures en creux ou des niveaux de sols enterrés.

Pour les périodes qui nous intéressent, se sont surtout les cartographies du phosphore basées sur le comblement des trous de poteau qui sont soumises à ce type de perturbation potentielle (voir plus haut). C'est pour cette raison que l'échantillonnage d'un trou de poteau doit être réalisé selon une séquence

de prélèvements couvrant l'ensemble des niveaux du remplissage et non par un prélèvement unique. Notons que le cas le plus typique est celui des fonds de cabanes médiévaux, dont le fond peut être contaminé par un comblement postérieur à l'utilisation de la structure, voire à l'occupation (Broes *et al.* 2013).

Pour le Néolithique ancien, un cas est attesté à Remerschen (Remich, Grand Duché de Luxembourg). Fechner *et al.* 1997 : 206 ; Baes *et al.*, 2000 ; Fechner *et al.* 2011) dans la Moselle. La basse terrasse de la Moselle y est recouverte de lœss issus de mobilisation éolienne de limon fluviaux locaux. Ici, ce sont les niveaux de colluvions recoupées par les sépultures de l'âge du Bronze final qui sont riches en phosphore. Les niveaux sous-jacents plus pauvres en phosphore, un horizon cultivé et un bâtiment du Néolithique ancien, sont donc potentiellement contaminés par l'impact des activités agricoles du Néolithique plus tardives et/ou de l'âge du Bronze ancien.

À Éterpigny (Lamotte 2015), un bâtiment de plan circulaire de l'âge du Bronze (**figure 12**) est le premier de ce type à être analysé ainsi. Il représente aussi un bon exemple de prise en compte des accumulations postérieures au niveau étudié. Sur ce haut de pente, une légère érosion est présente. La bioturbation est très prononcée dans ce type de contexte à la craie peu éloignée de la surface, sous des limons peu épais, voire localement affleurante. Le bâtiment de plan circulaire est plus pollué que ses alentours orientaux, moins que les alentours occidentaux pour un même taux d'érosion, enfin beaucoup moins que certains bâtiments plus récents. Il ne s'agit probablement pas d'un lieu d'activité très polluante, mais marqué par l'homme tout de même. Un problème à surmonter a été le fait que la pollution devait être le bilan de plusieurs phases d'accumulation (Bronze final et habitat postérieur : Hallstatt et La Tène).

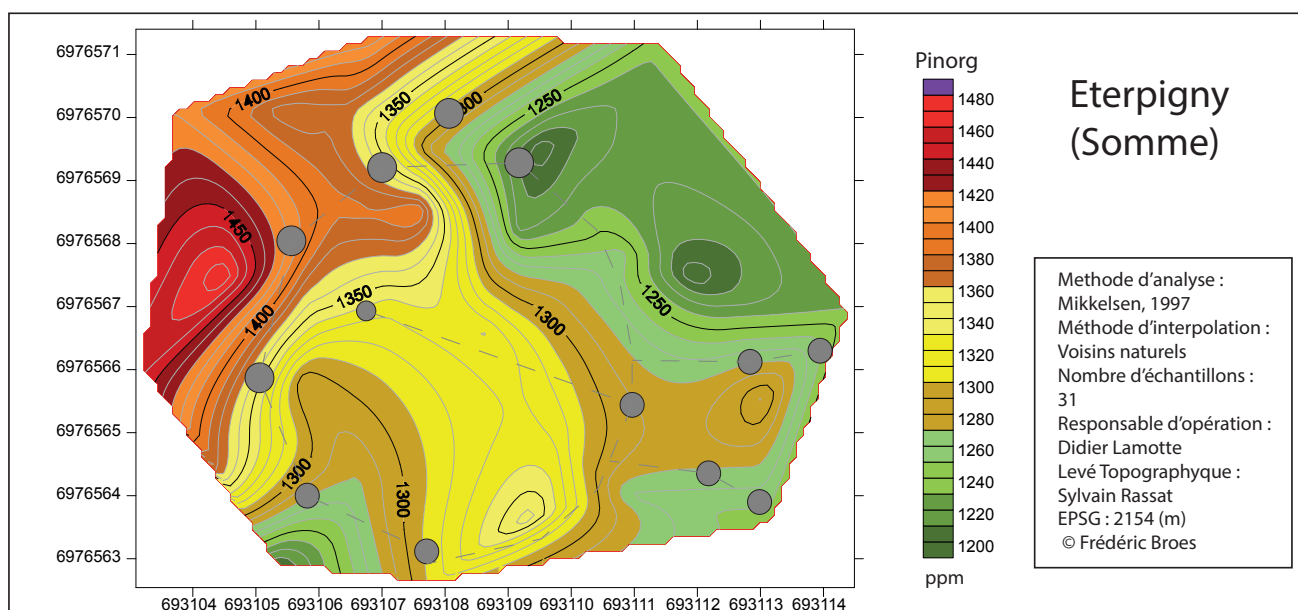


Figure 12 - Plan des analyses de phosphate du bâtiment au plan rond du site d'Éterpigny (CSNE Fouille 25B) (réalisation : F. Broes).

Pourtant, c'est bien la délimitation du bâtiment de l'âge du Bronze qui ressort, ce qui montre la pertinence de l'interprétation proposée.

## BILAN ET AUTRES EXEMPLES DE MISE EN ŒUVRE : À LA RECHERCHE DES ÉTABLES

### Néolithique ancien

Plusieurs exemples ont été présentés plus haut dans le cadre des chapitres consacrés à la méthodologie (voir aussi figures 1-2). Pour le Néolithique ancien, on peut difficilement établir un bilan à ce stade : seuls six sites du ont été traités et ce tant par des analyses que par des tests (**figure 1**). Trois sont proches d'un point de vue géographique (en Moyenne Belgique). Il est néanmoins frappant que les cinq bâtiments étudiés intégralement (tous sauf Remerschen) montrent des indications en faveur de fortes pollutions, ou de présence d'excréments, dans plusieurs (« Ormeignies » : Beugnier *et al.*, 2012, « Alleur » : Marchal 1998 ; Fechner *et al.*, 2003 ; 2007) ou dans une partie de l'unité architecturale (« Fexhe-le-Haut-Clocher » (Liège, Belgique), « Altwies » (Remich, Grand Duché de Luxembourg), Pont-sur-Seine (Aube, France).

Dans les trois sites du Néolithique ancien les mieux documentés (Fexhe-le-Haut-Clocher, Altwies et Pont-sur-Seine), la distribution de fortes doses de phosphore correspond à toute la largeur du bâtiment et non à une zone limitée à la proximité des parois comme dans certains cas plus récents. Cela rend peu probable un effet dû aux aménagements des parois (torchis riches en phosphore) et plus probable une activité récurrente propre à cette partie arrière du bâtiment. Si la présence effective des animaux dans la maison n'est pas prouvée et doit rester une hypothèse de travail, deux indices favorisent à ce stade au moins l'idée d'un lien avec la présence d'excréments, si l'on prend en compte les données pédologiques :

- Les valeurs hautes de phosphore mise en évidence sur tout ou une partie de l'intérieur d'un des bâtiments de manière couvrante, c'est-à-dire de paroi à paroi (1500-2200 à Fexhe-le-Haut-Clocher, Alleur et Ormeignies, et sans doute à Remerschen, plus de 3000 ppm sur des sols différents, à Altwies et Pont-sur-Seine/ Marnay-sur-Seine). Ces valeurs rappellent étroitement celles de sites avec présence d'excréments (Clotuche et Bazile 2006 ; Bazile et Clotuche, 2011) et diffèrent de celles d'autres contextes.

- La confirmation par la susceptibilité magnétique que l'on ait affaire à une source organique (et non à des ossements).

Il convient également de mentionner le rapprochement probable et partiel entre plans de maisons du Néolithique ancien étudiés ici et ceux, tripartites, des âges des métaux considérés comme étables dans les

régions plus nordiques (p. ex. Behre, 1998 ; Zimmermann, 2004). Enfin, le renforcement de la paroi du bâtiment au niveau de la partie enrichie en phosphore, correspondent à un des critères de reconnaissance de la partie étable des maison-étables de périodes ultérieures (W. de Clercq, comm. pers.).

### Néolithique moyen

Plusieurs exemples ont été présentés plus haut dans le cadre des chapitres consacrés à la méthodologie. Pour le Néolithique moyen non plus, on ne peut pas établir un bilan à ce stade : seuls quatre sites du Néolithique moyen ont été traités et ce tant par des analyses que par des tests (**figure 1**). À l'inverse du Néolithique ancien, seul un des quatre sites (Dampierre-le-Château, Marne) montre des indications favorisant de fortes pollutions (excréments ?) associées à une partie du bâtiment, voire de la stabulation .

Pour les maisons du Néolithique moyen analysées, on ne dispose qu'un cas sur sols lœssiques profondément décarbonatés directement comparables aux exemples du Néolithique ancien (Lantremange (Liège, Belgique), aux taux maximaux atteignant les 1400 ppm. Un cas sur sols très différents (argiles de dissolution de la craie) présente aussi des indices de faible enrichissement mais extérieurs au bâtiment (Villers-Carbonnel (Somme), avec 1500-4000 ppm). Or, cela reste peu par rapport à d'autres sites sur argile qui ont plus de 4000 voir 5000 ppm, parfois plus de 7000 ppm. À Ruitz, plus encore qu'à Villers-Carbonnel (Somme), l'emplacement et l'orientation exacts du bâtiment sont difficiles à préciser par les tests et analyses, trop faibles et peu contrastés, à l'inverse de Lantremange et de Dampierre-le-Château.

Enfin, le cas de Dampierre-le-Château (Marne) présente jusque 1400 ppm, et ce sur un sol de craie légèrement érodé, donc sans doute peu marqué par rapport à la surface d'origine manquante. De plus, l'enrichissement couvre toute l'extrémité du bâtiment et ce en association avec la répartition de la forte susceptibilité magnétique, donc avec de la matière organique, et en présence d'une extrémité rappelant un plan de type coupe-vent (Rouppert *et al.*, 2011). Ici plusieurs indices permettent de ne pas exclure la présence d'une zone riche en excréments, voire d'une zone de stabulation. Ce cas rappelle, à cet égard, ceux étudiés pour le Néolithique ancien.

### Néolithique final

De nombreux exemples de cartographie du phosphore ont été présentés pour cette période dans les chapitres méthodologiques (voir aussi figure 1).

Par ailleurs, trois bâtiments de l'habitat du Néolithique final de Sauchy-Lestrée (Pas de Calais, plateforme de Marquion, sur luvisol) ont, eux, été publiés en détail par E. Martial (*et al.* 2014) et en partie discutées par F. Broes (*et al.* 2013) et par G. Hulin

(*et al.* 2012). Dans les deux cas de bâtiments qui sont orientés parallèlement, sur les trois analysés, les résultats montrent des chevets occidentaux plus enrichis. Les enrichissements en phosphore sont limités à maximum 1300 ppm, ce qui exclut des activités polluantes telles que la stabulation, les accumulations d'ossements ou d'excréments. Ils restent donc faibles, de type stockage ou liés aux activités domestiques. Les plus forts enrichissements sont limités à des comblements de tranchées de fondations et de poteaux. Ils y sont interprétés comme des effets post-dépositionnels d'accumulation en relation avec les aménagements des parois (torchis enrichi en excréments ?).

Un autre résultat récent des cartographies est dû à l'interpolation des données chimiques (**figure 13**). Dans un des bâtiments (M) du Néolithique final du site d'Aire-sur-la-Lys dans le Pas de Calais (Lorin et Trawka, 2006b ; Fechner *et al.*, 2011), elle permet la mise en évidence d'un

espace entre poteaux (une « pièce ») un peu moins enrichi que le reste du bâtiment. Le fait qu'il soit situé entre la moitié et le tiers avant du bâtiment rappelle la situation du grenier interne supposé de Méaulte (Somme), indiqué entre autres par l'étude carpologique (Joseph *et al.*, 2011). La différenciation entre espaces transversaux plus et moins pollués pourrait être confirmée par les exemples de Sauchy-Lestrée (Martial *et al.*, 2014), de Lauwin-Planque (Julien et Leroy-Langelin, 2008 ; Fechner *et al.*, 2011 ; Fechner *et al.*, à paraître), de Braine « l'Alleud II » (Fechner *et al.*, 2011, à paraître), de Baisieux (Nord, Fechner et Broes, 2016) et de Rebreuve-Ranchicourt (Pas-de-Calais, Fechner, 2016 (b) ; Panloups et Meurisse-Fort, 2016). Cette isolation de zones fonctionnelles scindant transversalement l'espace interne des bâtiments se distingue des zones fonctionnelles divisant longitudinalement les bâtiments comme celles déjà présentées du site d'Altewies (*supra*).

Bâtiment M d'Aire-sur-la-Lys

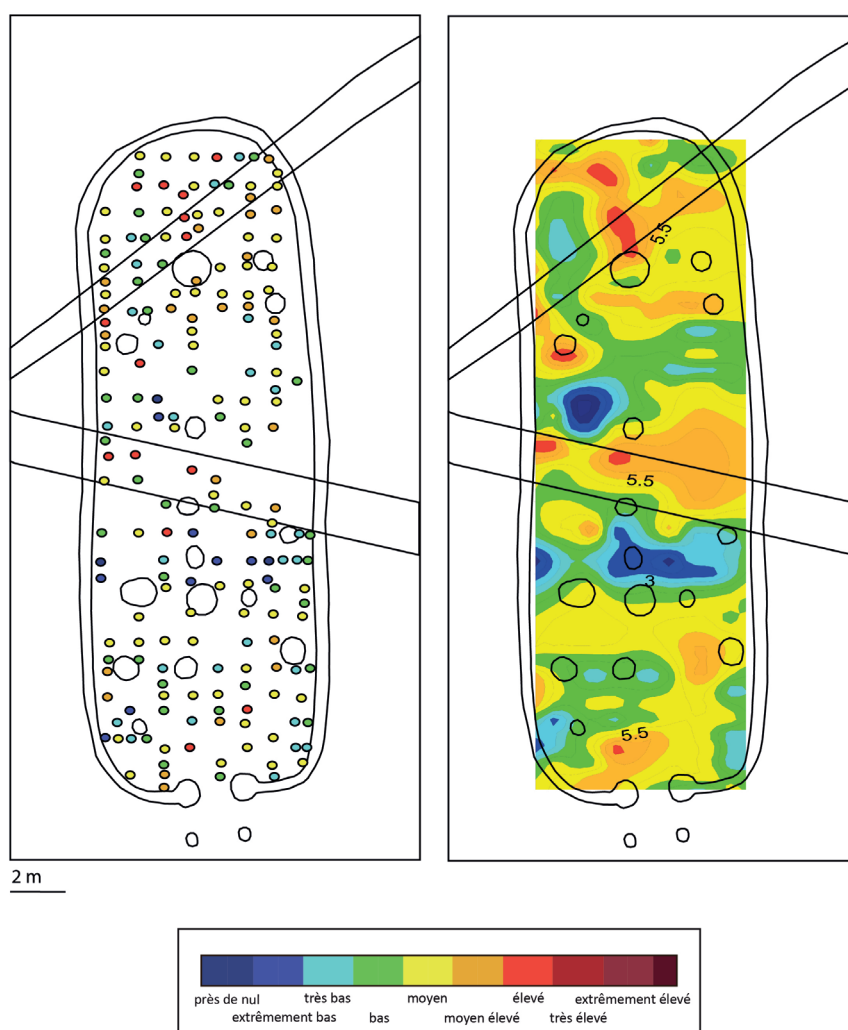


Figure 13 - Cartographie interpolée du plan du bâtiment M d'Aire-sur-la-Lys par les tests de phosphore, montrant une tendance à la spatialisation (pointillé ; réalisation : F. Broes) et surtout un appauvrissement dans le second quart avant (rectangle). Il pourrait rappeler les aménagements rencontrés à cet endroit dans d'autres bâtiments de ce type.



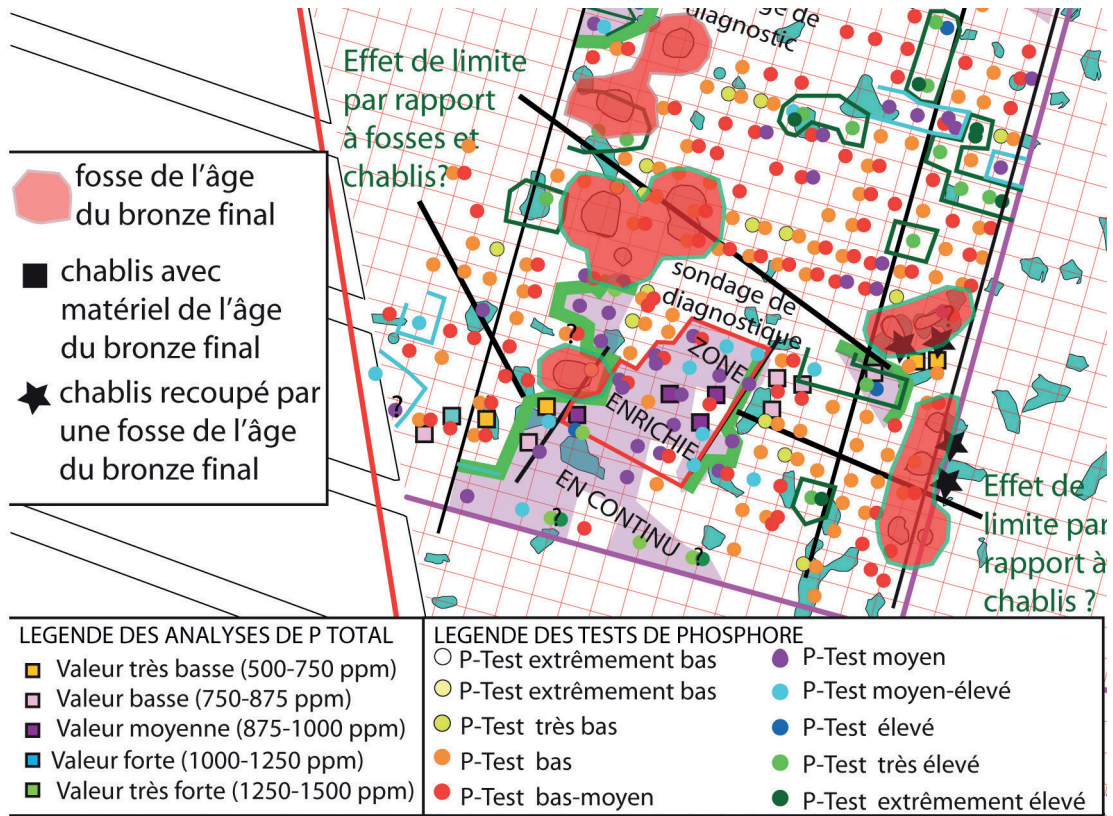


Figure 14 - Dans un vide archéologique entre fosses et chablis, la cartographie du phosphore du site de Quiévrechain livre une zone enrichie, en phosphore légèrement et en continu (bâtiment, cours, ... ?), confirmée par un transect d'analyses de laboratoire (ligne est-ouest indiquée par des carrés) (réalisation : V. Clavel, K. Fechner).

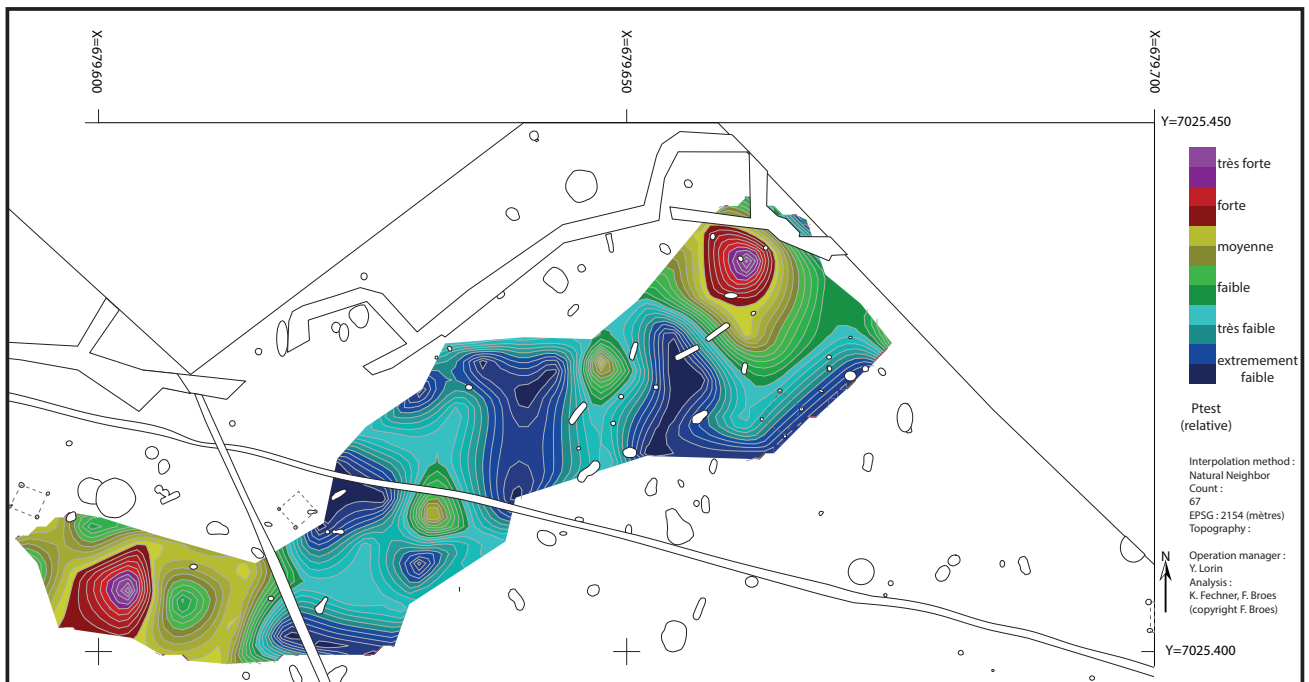


Figure 15 - La cartographie du phosphore du site de Maroeuil montre une zone peu ou pas érodée, dénuée de structures en creux à l'exception de trous de poteau épars, mais enrichie en phosphore (zone rouge et jaune à droite ; réalisation : F. Broes).

Pour le Néolithique final, on dispose donc d'un corpus plus important et concentré sur une aire géographique plus limitée, davantage comparable. Sept exemples ont été analysés et neuf uniquement testés (figure 1 ; Fechner *et al.*, 2011). Les taux maximaux de phosphate total des sept maisons du Néolithique final analysées (trois maisons de Saulchy-Lestrée, une à Lauwin-Planque, une à Aire-sur-la-Lys, une à Braine l'Alleud (I), une à Rebreuve-Ranchicourt) sont jusqu'à présent tous plus bas que ceux des maisons du Néolithique ancien, à savoir inférieurs à 1400 ppm. Les neuf autres maisons ont uniquement été testées pour le phosphore (Provin (Seine et Marne) : Bak, 2016 ; Arques (Pas de Calais) : Elleboode, *et al.* 2008 ; Elleboode, 2011 ; Fechner *et al.*, 2011), mais montrent une tendance similaire concernant la faiblesse des enrichissements.

Ils indiquent donc l'absence, à ce stade, d'éléments en faveur de la présence d'étable, mais aussi toute autre forme de forte pollution liée aux excréments ou aux ossements. Il reste évidemment à voir si des cas futurs confirment cette tendance.

Cette absence d'enrichissements notables ne s'expliquent ni par la nature des sols (p. ex. sols plus bioturbés qui distribuent le phosphore sur une plus grande profondeur), ni par l'érosion ou le mode de fouille (par exemple : surdépilage). Ces bâtiments sont donc, au mieux, affectés par une marque d'anthropisation du sol légèrement plus forte à l'intérieur qu'à l'extérieur du bâtiment. Elle serait due à des activités peu polluantes, telles que la mise en place d'aménagements et de déchets domestiques à base de restes végétaux, de cendres (, ...). Deux autres hypothèses de travail, difficiles à argumenter, seraient de supposer la présence systématique, soit d'une protection du sous-sol contre les infiltrations, soit d'une utilisation moins longue pour ces bâtiments que pour leurs prédécesseurs du Néolithique ancien, de manière à laisser une moindre empreinte chimique.

## Âge du Bronze

Dans l'aire d'étude, à notre connaissance, les bâtiments de l'âge du Bronze n'avaient presque pas fait l'objet de cartographies du phosphore précédemment, à l'exception de deux sites d'habitat du Bronze final, mentionnés dans Fechner *et al.* (2011). Une première cartographie d'un bâtiment de plan circulaire de cette époque est présentée ci-dessus, pour le site d'Éterpigny. À ce stade, seuls quatre sites de l'âge du Bronze ont été traités dont trois ont fait l'objet d'analyses chiffrées (figure 1). À l'instar du Néolithique final, aucun des quatre ne montre d'indications en faveur de fortes pollutions (excréments, ossements) ou de stabulation. Cette constatation peut être étendue aux rares bâtiments traités à ce stade pour le premier âge du Fer (Broes *et al.*, à paraître).

Une question particulière est celle, dans la région d'étude, de l'absence de grands bâtiments datant de l'âge du Bronze. Dans ce cadre, les sites de Quiévrechain

(Henton, 2009 ; 2013, figure 14), de Maroeuil (Pas de Calais, Lorin, 2016a, figure 15) et de Thillois (Marne, Riquier, à paraître) peuvent être mentionnés à titre de premières tentatives de recherche des enrichissements en phosphore suspects dans des habitats sans traces de bâtiments évidents et pourtant dénués d'érosion. L'hypothèse que certains vides archéologiques dans des zones entre poteaux épars (Maroeuil, Thillois) ou entre fosses et poches à matériel (Quiévrechain) seraient d'anciens bâtiments aux structures peu ancrées dans le sol pourrait s'appuyer sur un tel indice indépendant, à condition de multiplier les cas d'étude et de les confirmer par un faisceau d'arguments interdisciplinaires. D'autres hypothèses comme un espace d'activité extérieur («une cour») sont envisageables.

## RÉSULTATS SYNTHÉTIQUES ET PERSPECTIVES

Nous renvoyons à Broes *et al.* (à paraître) pour les perspectives en matière de méthodes de terrain et de traitement des données. Il y est notamment expliqué comment relier à l'avenir les données obtenues à des référentiels actuels et expérimentaux.

À la recherche d'éventuelles étables, on retiendra la forte accumulation relative des matières fécales dans le contexte d'habitat du Néolithique ancien de la région (6 cas étudiés dont 4 riches, 2 moyennement riches), sa rareté probable au Néolithique moyen (3 cas étudiés dont 2 pauvres, 1 moyennement riche), son absence au Néolithique final (8 cas étudiés, tous pauvres) et à l'âge du Bronze (4 cas, tous pauvres).

L'orientation des constructions, le dédoublement ou renforcement de certaines parois (par exemple : chevets de certains bâtiments rubanés), ou la présence d'entrées latérales (par exemple : les bâtiments Néolithique final de Sauchy-Lestrée et de Rebreuve-Ranchicourt ; le bâtiment laténien de Maldegem, Flandre Orientale, Belgique, W. De Clercq, comm. pers) sont les arguments généralement avancés pour soutenir des hypothèses de stabulations dans des bâtiments. Cependant, afin de prouver la présence d'activités d'élevage, il serait selon nous pertinent d'associer des données environnementales issues des horizons sous-jacents à ces aménagements architecturaux. Les cartographies du phosphore permettent en effet de souligner la présence d'accumulations anciennes de matière organique, et ce même en l'absence des horizons de sols anciens ou de matériel archéologique. Ceci conduit à la détermination de modules fonctionnels au sein des bâtiments qui autorisent des comparaisons de logiques fonctionnelles entre différents bâtiments.

Ces corrélations fonctionnelles peuvent également être basées sur d'autres traits environnementaux caractéristiques d'une activité liée à la stabulation

(Broes *et al.*, à paraître : carpologie, parasitologie, autres éléments chimiques que le phosphore,...).

L'interprétation d'une cartographie du phosphore rend également possible la mise en évidence de phases de réemploi de bâtiments. À titre d'exemple, celui-ci a notamment pu être prouvée pour un bâtiment agricole médiéval lorrain (site de Lucy (Moselle) ; Gérard 2012 ; Gérard 2015) où l'enrichissement en phosphore correspondait à un espace lié à la modification des cloisons internes du bâtiment. Si une mise en garde s'impose quant à la possibilité d'une telle réutilisation, elle peut être prévenue grâce à la forte résolution de la cartographie (voir par exemple *supra* : Aire-sur-la-Lys, (figure 13)

Outre les comparaisons entre bâtiments d'un même site, les données pédologiques permettent l'établissement de corrélations fonctionnelles à l'échelle d'un terroir, d'une région. Celles-ci permettront d'approcher la « plasticité économique » dont a fait preuve l'homme en adaptant ses pratiques d'élevage et agricoles au type de sol, au type de végétation ou encore au relief de son environnement.

La phase actuelle s'attache à comparer des bâtiments provenant de terroirs semblables pour des périodes comparables et présentant des architectures apparentées, mais sans exclure pour certaines des utilisations divergentes au sein de ces « types » (Hajo Zimmermann, comm. pers.). Pour les sites du Néolithique et de l'âge du Bronze de la région que nous couvrons, il faudrait accroître le nombre de cas étudiés, afin de dépasser la mise en évidence ponctuelle et révéler des récurrences dans l'utilisation ou la transformation de différents types d'aménagements architecturaux. À ce stade, seules des hypothèses peuvent être avancées.

La phase suivante verra des comparaisons entre terroirs et la tentative d'établissement d'une évolution fonctionnelle.

## BIBLIOGRAPHIE

### AFNOR NF X31-151

1993 : Sols, sédiments, boues de stations d'épuration – Mise en solution d'éléments métalliques en traces (Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn) par attaques acides, in *Qualité des sols*, AFNOR, p. 139-145.

### Baes R., Fechner K., Langohr R., Mikkelsen J. H., Bezce-Deak J.

2000: *Remerschen-Schengen au Néolithique, L'environnement et son évolution avant, pendant et juste après l'occupation rubanée du site, Rapport géo- et archéopédologique*, Bruxelles, Université libre de Bruxelles, Gand, Université de Gand, Luxembourg, Musées nationaux d'Histoire et d'Art, 59 p.

### Bak, V.

2016 : *Provin, Nord, « Rue Pasteur », « Rue André Boulloche »* : un habitat du Néolithique final, *Rapport de diagnostic*, Achicourt, Inrap Nord-Picardie, DRAC, Service régional de l'Archéologie du Nord-Pas-de-Calais, Lille, 1 vol., 56 p.

### Bazile F., Clotuche R.

2011 ? : A 3<sup>rd</sup> Century AD House Construction at Saint-Étienne-au-Mont (Boulogne-sur-Mer, Pas-de-Calais), Complementarities of Chemistry and Archaeology for a Functional Characterisation, in Fechner K., Devos Y., Leopold M., Völkel J. (dir.), *Archaeology, Soil- and Life Sciences Applied to Houses, Gardens and Courtyards, Second Volume of the Proceedings of the Session « From Microprobe to Spatial Analysis, Enclosed and Buried Surfaces as Key Sources in Archaeology and Pedology »* organised at the European Association of Archaeologists, 12<sup>th</sup> Annual Meeting, Krakow-Poland, 19<sup>th</sup> to 24<sup>th</sup> September 2006, Oxford, Archaeopress (BAR, International Series, 2222), XXXp.

### Behre K.-E.

1998 : Landwirtschaftliche Entwicklungslinien und die Veränderung der Kulturlandschaft in der Bronzezeit Europas, in Hänsel B. (éd.), *Mensch und Umwelt in der Bronzezeit Europas*, Kiel, Oetker-Voges-Verlag, p. 91-109.

### Beugnier V., Bosquet D., Colette O., Livingstone-Smith A. (dir.)

2012 : Habitas du Néolithique ancien en Hainaut occidental (At et Beloeil, Belgique) : Ormeignie "Le Pilon" et Aubechies "Coron Maton", Namur, Institut du Patrimoine wallon, (Coll. Études et document, Archéologie, 18), 278 p.

### Bosquet D., Fock H., Goffioul C., Preud'homme D.

1999 : Fexhe-le-Haut-Clocher : fouille d'un site rubané au lieu-dit « Podri l'Cortri » à Freloux, *Chronique de l'Archéologie wallonne*, 7, p. 63-65.

### Bostyn F. (dir.)

(2014) : *Canal Seine Nord Europe, fouille 12, Picardie, Somme, « Saint-Christ-Briost » et « Villers Carbonnel » : des systèmes d'enceintes au Néolithique moyen II, Rapport final d'opération*, Croix-Moligneaux, Inrap canal Seine-Nord Europe, DRAC, Service régional de l'Archéologie du Nord-Pas-de-Calais, Lille, 2 vol., 562p., 308p.

### Broes F., Fechner K.

2016 : Rapport d'intervention pédologique sur le site de Magny-sur-Tille, in Lamotte D., *Rapport de fouille du site de Magny-sur-Tille*, Inrap Grand Est Sud (Inédit).

### Broes F., Clavel V., De Clercq W., Fechner K., Rouppert V., Vanmoerkerke J.

2013 : À la recherche des espaces de stabulations, Étude pluridisciplinaire d'habitats de cas des périodes néolithique à médiévale dans le Nord de la France, application du SIG, *Archéopages*, n° 3, p. 6-16.

### Broes F., Clavel V., Fechner K.

2015 : avec la coll. de Créteur Y., Hulin G., Maïcher C., Le Bailly M. : La cartographie du phosphore sur les habitats anciens du tracé du Canal Seine-Nord Europe et en Nord-Picardie, Résultats d'une approche archéopédologique, actes de la journée « Géoarchéologie » de la Société géologique du Nord, déc. 2015, *Annales de la Société géologique du Nord*, t. 22 (2<sup>e</sup> série), p. 71-2



**Broes F., Fechner K. et Clavel V.**

**Sous presse** : Unités architecturales interprétées à l'aide des sciences du sol dans le Nord de la France : résultats et tendances in *Produire, transformer et stocker dans les campagnes des Gaules romaines*, actes du colloque AGER, du 11-13 juin 2014, à Clermont-Ferrand.

**Broes F., Fechner K., Clavel V.**

**À paraître** : De l'indice à l'interprétation : approche systématique des grandes fosses et dépressions anthropiques gallo-romaines, in Fechner K., Clavel V., Créteur Y., Deflorenne C., Broes F. *Interprétations interdisciplinaires de structures et espaces archéologiques au nord de la Seine, de l'âge du Bronze au Moyen Âge*, Paris, Inrap/CNRS Éditions (Collection Recherches archéologiques).

**Clotuche R., Bazile F.**

**2006** : Saint-Étienne-au-Mont (II<sup>e</sup>-XIV<sup>e</sup> siècles), caractérisation par de nouvelles méthodes, *Archéologie en Nord - Pas-de-Calais* 14, DRAC, Service régional de l'Archéologie Nord-Pas-de-Calais/ Inrap.

**Devos Y.**

**2005** : *L'application de la cartographie des phosphates à une structure archéologique sur le site de Dampierre-le-Château (traitement statistique des données)*, Rapport interne, Bruxelles, Université libre de Bruxelles.

**Devos Y., Fechner K., Mikkelsen J.H.**

**2011** : The Application of Phosphorus Cartography to Archaeological Structures : the Development of a Protocol, in Fechner K., Devos Y., Leopold M., Völkel J. (dir.), *Archaeology, Soil- and Life Sciences Applied to Houses, Gardens and Courtyards, Second Volume of the Proceedings of the Session « From Microprobe to Spatial Analysis, Enclosed and Buried Surfaces as Key Sources in Archaeology and Pedology »* organised at the European Association of Archaeologists, 12<sup>th</sup> Annual Meeting, Krakow-Poland, 19<sup>th</sup> to 24<sup>th</sup> September 2006, Oxford, Archaeopress (BAR, International Series, 2222), p. 9-28.

**Dugois F., Fechner K., Raynaud K.**

**2002** : Dampierre-le-Château « Liévaux » : un bâtiment trapézoïdal de la deuxième moitié du quatrième millénaire découvert dans l'Argonne marnaise : premiers résultats, *InterNéo* 4, actes de la journée d'information du 16 nov. 2002, Paris, Société préhistorique française/InterNéo, p. 9-12.

**Eidt R.C.**

**1984** : Methodology of Phosphate Analysis : Field Application, in Eidt R.C. (dir.) - *Advances in abandoned settlement analyses. Application to Prehistoric Anthrosols in Colombia, S. America*. Milwaukee, p. 33-39.

**Elleboode, E.**

**2011** : Arques-Campagne-lès-Wardrecques, platerforme multimodale des portes de l'Aa. (Pas-de-Calais), Rapport de fouille, Inrap Nord-Picardie, Amiens, DRAC, Service régional de l'Archéologie du Nord-Pas-de-Calais, Amiens, XXXp.

**Elleboode E., Coubray S., Martial E.**

**2008** : Un bâtiment du III<sup>e</sup> millénaire av. J.C. découvert à Arques (Pas-de-Calais), *Internéo* 7, actes de la journée d'information du 22 nov. 2008, Paris, Société préhistorique française/InterNéo, p. 153-162.

**Fechner K.**

**2011** : Case Studies of Phosphorus Mapping in Late La Tène to Roman Enclosures and Ponds between Rhine and Seine, in Fechner K., Devos Y., Leopold M., Völkel J. (dir.), *Archaeology, Soil- and Life Sciences Applied to Houses, Gardens and Courtyards, Second Volume of the Proceedings of the Session « From Microprobe to Spatial Analysis, Enclosed and Buried Surfaces as Key Sources in Archaeology and Pedology »* organised at the European Association of Archaeologists, 12<sup>th</sup> Annual Meeting, Krakow-Poland, 19<sup>th</sup> to 24<sup>th</sup> September 2006, Oxford, Archaeopress (BAR, International Series, 2222), p. 29-64.

**Fechner K.**

**2016a** : Rapport des études pédologiques du site de Ruitz, in Martial E., (dir.), *Ruitz « ZI des Hallots »* (Pas-de-Calais), *Rapport final d'opération*, Inrap Nord-Picardie, Villeneuve d'Ascq, DRAC, Service régional de l'Archéologie du Nord-Pas-de-Calais, Lille, p. XXX

**Fechner K.**

**2016b** : Rapport des études pédologiques du site de Rebreuve-Ranchicourt, in Panloup, E. (dir.), *Rebreuve-Ranchicourt « Le Mont »* (Pas-de-Calais), *Rapport final d'opération*, Conseil général du Pas-de-Calais, DRAC, Service régional de l'Archéologie du Nord-Pas-de-Calais, Lille, p. XXX.

**Fechner K., Broes F.**

**2016** : *Baisieux, rapport pédologique des observations de terrain et des tests de phosphore*, in Martial E., (dir.), *Baisieux « Rue de la Mairie »* (Nord), *Rapport final d'opération*, Inrap Nord Picardie, Villeneuve d'Ascq, DRAC, Service régional de l'Archéologie du Nord-Pas-de-Calais, Lille, p. XXX.

**Fechner K., Langohr R., Mikkelsen J.H., Becze-Deak J.**

**1997** : Affectation humaine et fertilité des sols au Néolithique ancien sur quelques sites du Grand-Duché de Luxembourg et de Lorraine, in (dir.), *Le Néolithique danubien et ses marges entre Rhin et Seine*, Actes du 22<sup>e</sup> colloque interrégional sur le Néolithique, Strasbourg 27-29 oct. 1995, (Supplément aux Cahiers de l'Association pour la Promotion de la Recherche Archéologique en Alsace), p. 197-212.

**Fechner K., Marchal J.-P., Degryse H., Doutrelepont H., Vrydaghs L.**

**2003** : Bilan d'une étude pédologique et micro-morphologique approfondie : le site rubané d'Alleur « Domaine militaire » (campagne de fouille 1998), *Notae Praehistoricae* 23, p. 109-123.

**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, Excavations in a New Millennium (papers of the EAA congress of Lisbon)*, British Archaeological Records (BAR) Oxford, Archaeopress, (BAR, International Series 1256), p. 239-256.

**Fechner K., Mikkelsen J., Vrydaghs L., Baes R., Devos Y.**

**2007** : Les cartographies de phosphates et de phytolithes dans quatre maisons néolithiques du Nord de la France, de Belgique et du Luxembourg, in Le Brun-Ricalens F., Valotteau F., Hauzeur A. (dir.) *Relations interrégionales au Néolithique entre Bassin parisien et Bassin rhénan*, 26<sup>e</sup> colloque Interrégional sur le Néolithique, Luxembourg, 8 et 9 nov. 2003, Luxembourg, Éditions Musée national d'Histoire et d'Art. Service régional de l'Archéologie de Lorraine, Landesdenkmalamt des Saarlandes, (Archaeologia Mosellana n° 7), p. 83-88.



**Fechner K., de Lil A., Clavel V., Hus J., Teheux E.**

**2011** : Méthodes et résultats de la cartographie du phosphore dans des bâtiments allongés du Néolithique dans le nord de la France et en Wallonie in Bostyn F., Martial E., Praud (dir.), *Le Néolithique du Nord de la France dans son contexte européen : habitat et économie aux 4<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> millénaires avant notre ère*, actes du 29<sup>e</sup> colloque Interrégional sur le Néolithique, Villeneuve d'Ascq, 2 et 3 oct. 2009, (Revue archéologique de Picardie, n° spécial, 28), p. 275-297.

**Fechner K., Clavel V., Deflorenne C., Créteur Y. (dir.)**

**2014** : *Rapport final 2011-2014 du projet PAS « Cartographie et base de données des structures et espaces interprétés de manière interdisciplinaire en Nord-Picardie, Un SIG pour les milieux ruraux de l'âge du Bronze au haut Moyen Âge en Nord-Picardie et dans les départements limitrophes »*, Inrap Nord-Picardie, Villeneuve d'Ascq, DRAC, Service régional de l'Archéologie du Nord-Pas-de-Calais, Lille, XXX p.

**Fechner K., Broes F., Clavel V.**

**2015** : Des sols «lessivés». L'évolution différentielle des sols et de l'érosion depuis 3000 ans dans le Nord de la France, in Berck C., Guizard F., Heude J. (dir.), *Sols en mouvement*, actes des Rencontres internationales de Liessies 2014, (Revue archéologique du Nord, Hors série, 23), p. 41-57.

**Fechner K., Broes F., Clavel V., David, Chr., Devos Y., Hus J., Mikkelsen, J.**

**À paraître** : Synthetical Results of a Multi-proxy Approach to Neolithic to Medieval Houses between Rhine and Seine, in Fechner K., Devos Y., Leopold M., Völkel J. (dir.), *Archaeology, soil- and life sciences applied to houses and gardens*, Second volume of the proceedings of the session « From microprobe to spatial analysis. Enclosed and buried surfaces as key sources in Archaeology and Pedology » organised at the European Association of Archaeologists, 12<sup>th</sup> Annual Meeting, Krakow-Poland, (BAR. International Series).

**Fock H., Goffioul Cl., Remy H., Bosquet D., coll. Damblon, F. Deigné, A., Fechner, K., Frébutte, C., Haesaerts, P., Hanut, F., Laurent, C., Pigière, F., Polet, C.**  
**2008** : *Les traverses du temps, Archéologie et TGV*, Catalogue d'exposition, Namur, Région wallonne, 161 p.

**Fournand S., Allard P., Bonnaire E., Hachem L., Hamon C., Maigrot Y., Meunier K., Salavert A.**

**2010** : Un habitat rubané à Pont-sur-Seine/Marnay-sur-Seine (Aube), *InterNéo 8*, actes de la journée d'information du 20 nov. 2010, Paris, Société préhistorique française/InterNéo, p. 9-22.

**Gérard F. (dir.)**

**2012** : *Lucy (Moselle, 57), Rapport final d'opération*, Inrap Grand Est Nord, Metz, DRAC, Service régional de l'Archéologie d'Alsace, Strasbourg.

**Gérard F.**

**2015** : Le village lorrain du Moyen Âge à nos jours, Architecture et organisation spatiale des maisons, *Archéopages*, n° 40, p. 104-119. Guidelines for Soil Description (1990), 3<sup>rd</sup> edition (Rome, FAO), 70p

**Hauzeur A. (coord.)**

**2003** : Altwies « Op dem Bosch » (Grand-Duché de Luxembourg) : résultats préliminaires de l'étude pluridisciplinaire des occupations rubanées, campaniforme et protohistoriques, *Bulletin de la Société préhistorique luxembourgeoise* n° 23-24, 2001-2002, p. 129-326.

**Heller F., Clarys B., Martin F., Van Buylaere M.**

**2007** : Braine-l'Alleud « Le Bosquet del Vau » (Bt) : un établissement du Néolithique final, *Journées d'archéologie wallonne*, déc. 2007, Pré-actes, p. 59-62

**Henton A.**

**2013** : *Quiévrechain (59)*, rue Jean Jaurès, « Les Vanneaux » : habitat de l'âge du Bronze final et du premier âge du Fer, Inrap Nord-Picardie, Villeneuve d'Ascq, DRAC, régional de l'Archéologie du Nord-Pas-de-Calais, Lille, 155 p.

**Henton A.**

**2009** : Quiévrechain « Les Vanneaux » : fouille préventive sur un important site d'habitat de la fin de l'âge du Bronze et du premier âge du fer (département du Nord, France), *Lunula, Archaeologica protohistorica*, XVII, p. 221-223.

**Hulin G., Broes F. et Fechner K.**

**2012** : Caractérisation de phénomènes anthropiques par la mesure de paramètres magnétiques sur surface décapée, Premiers résultats sur le projet canal Seine-Nord Europe, *Archéosciences*, 36, p. 61-70.

**Jahn, R., Blume, H. P., Asio, V. B., Spaargaren O., Schad P.**

**2006** : *Guidelines for Soil Description*, 4<sup>e</sup> éd., vol. 1. Rome, Food and Agriculture Organization of The United Nations, (Technical Guide), 97 p.

**Joseph F., Julien M., Leroy-Langelin E., Lorin Y., Praud I.**

**2011** : L'architecture domestique des sites du III<sup>e</sup> millénaire avant notre ère dans le nord de la France, in Bostyn F., Martial E., Praud (dir.), *Le Néolithique du Nord de la France dans son contexte européen : habitat et économie aux 4<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> millénaires avant notre ère*, actes du 29<sup>e</sup> colloque Interrégional sur le Néolithique, Villeneuve d'Ascq, 2 et 3 oct. 2009, (Revue archéologique de Picardie, n° spécial, 28), p. 249-273.

**Julien M., Leroy-Langelin E.**

**2008** : L'habitat du Néolithique final dans la région de Douai (Nord), *InterNéo 7*, actes de la journée d'information du 22 nov. 2008, Paris, Société préhistorique française/InterNéo, p. 143-152.

**Lamotte D. (dir.)**

**2015** : *Canal Seine Nord Europe, fouille 25, Picardie, Somme, Éterpigny, Barleux* : les fouilles archéologiques sur la plateforme d'activités de *Peronne-Haute Picardie du Canal Seine-Nord Europe, Rapport final d'opération*, Amiens, Croix-Molignieux, Inrap canal Seine Nord-Europe, 7 vol. 316 p., 664 p., 456 p., 256 p., 560 p., 409 p., 132 p.

**Langohr R.**

**1994** : Directives and Rationale for Adequate and Comprehensive Field Soil Data Bases, in Cleemput O. (dir.) - *New Waves in Soil Science, Refresher Course for Alumni of the International Training Centre for Post-Graduate Soil Scientists of the Ghent University*, Yogyakarta, Gadjah Mada University (Publication Series 5), p. 176-191.

**Langohr R.**

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

**Liard M.**

**2009** : Méthodes phosphate inorganique et organique [search.fre.fr/spip.php?article71](http://search.fre.fr/spip.php?article71) : onglet « réflexion et débat » url

**Lienemann J., Gebhardt H.**

**1985**: Phosphatgehalte und P-Bindungsformen in anthropogenen Böden Nordwestdeutschlands, *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 43/I, 1985, p. 63-70

**Lorin Y. et coll. Auxiette G., Henton A., Prost D.**

**2016a** : Maroeuil, « Rue Curie », *Occupations du Néolithique et de l'âge du Bronze (Pas-de-Calais)*, Rapport final d'opération, Inrap Nord – Pas-de-Calais, DRAC, Service archéologique de Nord – Pas-de-Calais, Lille.

**Lorin Y., Trawka H.**

**2006** : Le Néolithique final sur le site de la ZAC Saint-Martin à Aire-sur-la-Lys (Pas-de-Calais), Nouvelles données sur l'architecture domestique dans le Nord de la France, *InterNéo* 6, actes de la journée d'information du 18 nov. 2006, Paris, Société préhistorique française/InterNéo, p. 95-102.

**Macphail R.I., Cruise G.M., Allen M.J., Linderholm J., Reynolds P.**

**2004** : Archaeological Soil and Pollen Analysis of Experimental Floor Deposits ; with Special Reference to Butser Ancient Farm, Hampshire, UK, *Journal of Archaeological Science*, 31, p. 175-191.

**Marchal J.P.**

**1998** : Sauvetage sur un site rubané à Aleur – « Domaine militaire », *Notae Praehistoricae*, 18, p. 107-117.

**Marchal J.-P., De Beuckeleer N., Haeck J., Loicq S.**

**2004** : Une grande maison de la première moitié du 4<sup>e</sup> millénaire à Lantremange, *Notae Praehistoricae*, 24, p. 139-150.

**Martial E., Amposta A., Broes F., Fechner K., Hulin G., Praud I., Salavert A.**

**2014** : Les sites d'habitat du Néolithique final dans le nord de la France : nouvelles recherches et premiers résultats à Sauchy-Lestrée (Pas-de-Calais), in Sénépart I., Billard C., Bostyn F., Praud I., Thirault É. (dir.), *Méthodologie des recherches de terrain sur la Préhistoire récente en France, Nouveaux acquis, nouveaux outils, 1987-2012*, actes des 1<sup>ères</sup> Rencontres Nord-Sud de Préhistoire récente, Marseille, 23-25 mai 2012, Toulouse, Archives d'Écologie Préhistorique, p. 249-254.

**Mikkelsen J.H.**

**1997**: Laboratory Method for Determination of Organic, Inorganic and Total Phosphate, *Bulletin of the Archaeological Micromorphology Working Group 1* (url : <http://www.roots.archeo.free.fr> : onglet « réflexion et débat »).

**Onfray, M.**

**2012** : Étude des vestiges de terre crue brûlée de Champ-Durand (Vendée), in Jousseau O., (dir.), *L'enceinte néolithique de Champ-Durand à Nieul-sur-l'Autise (Vendée)*, Chauvigny, Association des Publications Chauvinoises, (Mémoire XLIV), p. 599-620.

**Panlouis E., Meurisse-Fort M.**

**2016** : Évolution d'un habitat à travers l'étude de trois bâtiments de la fin du Néolithique : premiers résultats de la fouille de Rebreuve-Ranchicourt (Pas-de-Calais), *InterNéo* 11, actes de la journée d'information du 26 nov. 2016, Paris, Société préhistorique française/InterNéo, p. 169-178.

**Proudfoot B.**

**1976**: The Analysis and Interpretation of Soil Phosphorus in Archaeological Contexts, in Davidson D.A., Shackley M.L. (dir.), *Geoarchaeology*, p. 93 -113

**Reynolds P.**

**1995**: Life and Death of a Post-Hole, in Shepherd E. (dir.), *Interpreting Stratigraphy 5*, Proceedings of a Conference held at Norwich Castle Museum on 16<sup>th</sup> June 1994 and supported by the Norfolk Archaeological Unit, p. 20-25.

**Riquier V.**

**à paraître** : Thillois (Marne), « La Croix Rouge » (Marne), Rapport final d'opération, Inrap Grand Est-Nord, Chalons-en-Champagne, DRAC, Service régional de l'Archéologie de Nord-Picardie, Lille.

**Rouppert V., Dufour J.-Y., Fechner K.**

**2009** : *Le site gallo-romain de Saint-Brice-sous-Forêt « La Chapelle Saint-Nicolas » (Val d'Oise), Essai de caractérisation d'une exploitation agricole gallo-romaine, Rapport de fouille*, Inrap Centre-Ile-de-France, Paris, DRAC, Service régional de l'Archéologie d'Île-de-France, 3 vol. : 253 p., 200 p., 530 p.

**Rouppert V., Dufour J.-Y., Fechner K.,**

**2011** : Confrontation of the Archaeological and Pedological Approaches : A 1<sup>st</sup>-4<sup>th</sup> C. AD Enclosure with Agricultural Vocation at the 'Chapelle Saint-Nicolas' in Saint-Brice-sous-Forêt (Val-d'Oise, France), in Fechner K., Devos Y., Leopold M., Völkel J. (dir.), *Archaeology, Soil- and Life Sciences Applied to Houses, Gardens and Courtyards, Second Volume of the Proceedings of the Session « From Microprobe to Spatial Analysis, Enclosed and Buried Surfaces as Key Sources in Archaeology and Pedology »* organised at the European Association of Archaeologists, 12<sup>th</sup> Annual Meeting, Krakow-Poland, 19<sup>th</sup> to 24<sup>th</sup> September 2006, (BAR, International Series, 2222), p. 133-142.

**Tukey J.W.,**

**1977**: *Exploratory Data Analysis*, Addison Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts, 668 p.

**Zimmermann W.H.**

**2004**: Vom Pfostenloch zum Hausbefund, *Archäologie in Deutschland* 2004-2, p. 18-20.

