



HAL
open science

Unités architecturales interprétées à l'aide des sciences du sol dans le Nord de la France: résultats et tendances pour l'époque romaine

Frédéric Broes, Kai Fechner, Viviane Clavel, Guillaume Hulin

► To cite this version:

Frédéric Broes, Kai Fechner, Viviane Clavel, Guillaume Hulin. Unités architecturales interprétées à l'aide des sciences du sol dans le Nord de la France: résultats et tendances pour l'époque romaine. Frédéric Trément; Alain Ferdière; Philippe Leveau; François Réchin. Produire, transformer et stocker dans les campagnes des Gaules romaines. Problèmes d'interprétation fonctionnelle et économique des bâtiments d'exploitation et des structures de production agro-pastorale, 38, Fédération Aquitania, pp.69-96, 2017, Suppléments Aquitania, 978-2-910763-00-8. hal-03957032

HAL Id: hal-03957032

<https://hal.science/hal-03957032>

Submitted on 25 Jan 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.

Unités architecturales interprétées à l'aide des sciences du sol dans le Nord de la France : résultats et tendances pour l'époque romaine

*Frédéric Broes, Kai Fechner et Viviane Clavel
avec la collaboration de Guillaume Hulin*

Les aménagements architecturaux et leur milieu proche (surfaces de circulation et horizons de surface) ont fréquemment fait l'objet d'études pédologiques dans le Nord de la France, ces dernières années, afin de préciser leur environnement fonctionnel (fig. 1). L'angle d'approche principal, aux côtés des observations de terrain et d'analyses micro-morphologiques, est celui de la cartographie d'éléments chimiques comme le phosphore, le fer, le carbone ou encore le potassium. Dans ce cadre, l'élément le plus souvent cartographié est le phosphore, car il s'agit d'un bon traceur de l'anthropisation de l'environnement.

Les unités architecturales gallo-romaines sont parmi les plus nombreuses à avoir été étudiées. Nous aborderons successivement les méthodes de travail, les exemples méthodologiques, quelques autres cas pratiques parlants, enfin les questions et perspectives issues de ce travail.

MÉTHODE DE TRAVAIL

La question de la méthode de travail ayant été déjà largement abordée par ailleurs, nous nous tiendrons à l'essentiel dans le cadre de cette contribution¹.

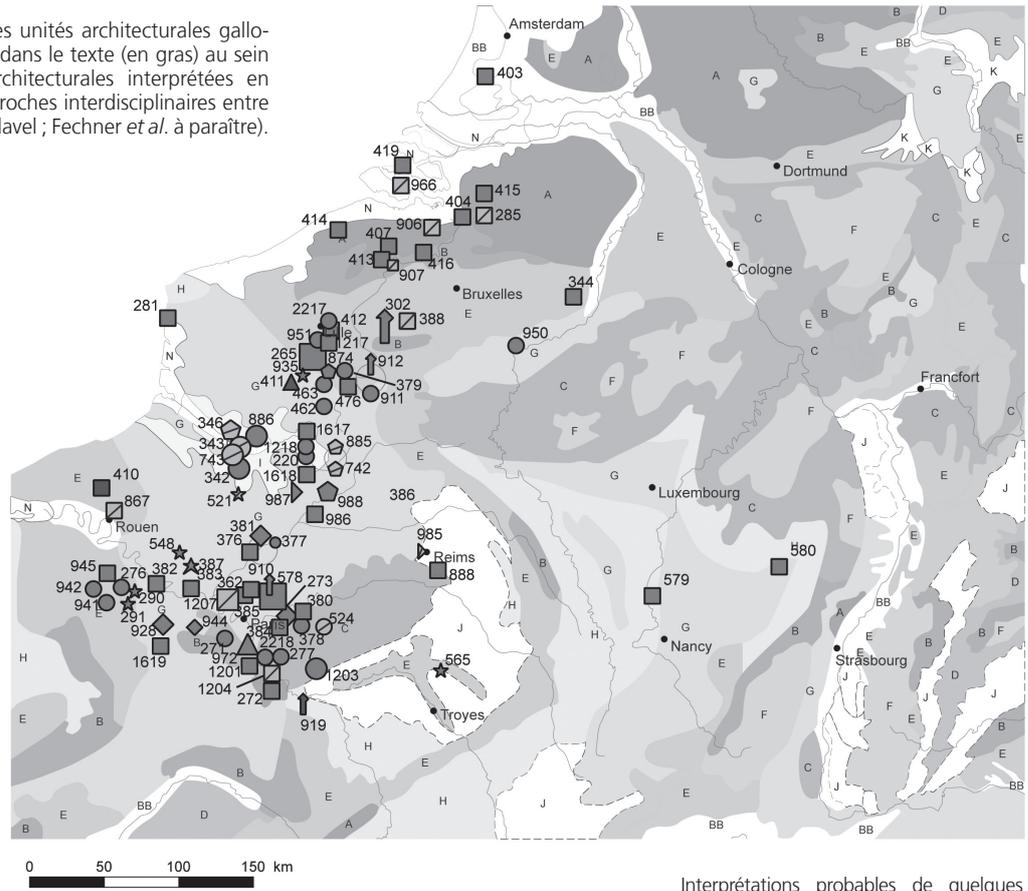
Intérêt des tests de phosphore

La cartographie des taux de phosphore par les tests est une méthode d'investigation physico-chimique qui permet de déterminer rapidement les zones relativement plus polluées par le phosphore au sein d'un site archéologique, d'une structure ou d'un horizon. Le phosphore reflète le plus souvent une pollution par des matières organiques concentrées (excréments, végétaux), par des cendres ou par des ossements. L'origine ancienne de cet enrichissement doit être confirmée par la corrélation entre la répartition de la pollution et le plan et/ou la stratigraphie archéologique. Soulignons que les tests permettent parfois de compléter ou de préciser le plan de certains bâtiments pour lesquels les structures archéologiques ne sont pas toutes conservées. Il arrive ainsi que la pollution, grâce à une intégration profonde du phosphore par les bioturbations, reflète davantage l'emprise complète du bâtiment ou des sous-divisions au sein de celui-ci.

Il s'agit d'une démarche non quantitative (abondance relative en phosphore), facile à mettre en œuvre qui, si les résultats sont concluants, ouvre la voie à la phase d'analyses chiffrées.

1- Fechner *et al.* 2004 ; Devos *et al.* 2011.

Fig. 1. Cartographie des unités architecturales gallo-romaines mentionnées dans le texte (en gras) au sein du corpus d'unités architecturales interprétées en s'appuyant sur des approches interdisciplinaires entre Rhin et Seine (carte V. Clavel ; Fechner *et al.* à paraître).



Interprétations probables de quelques unités architecturales traitées de manière interdisciplinaire pour la période romaine, basées sur la littérature et des rapports.

Numéros de sites et noms des sites associés

- | | | |
|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------------|
| 220 Cizancourt | 403 Alphen | 910 Mauregard |
| 265 Dourges | 404 Ekeren | 911 Famars |
| 271 Saclay | 407 Evergem | 912 Famars |
| 272 Cesson II | 410 Saint-Ouen-du-Breuil | 919 Ville-Saint-Jacques |
| 273 Montevrain | 411 Hordain | 928 Richebourg |
| 276 Le Vieil Evreux | 412 Villeneuve d'Asq | 935 Gavrelle |
| 277 Lieusaint | 413 Sint-Denijs-Westrem | 941 Parville |
| 281 Saint-Etienne-au-Mont | 414 Brugge | 942 Parville |
| 285 Brecht | 415 Brecht | 944 Jouars-Pontchartrain |
| 290 Le Vieil Evreux | 416 Zele | 945 Parville |
| 291 Le Vieil Evreux | 419 Colijnsplaat | 950 Champion |
| 302 Blicquy | 462 Marquion | 951 Seclin |
| 342 Amiens | 463 Marquion | 966 Borsele |
| 343 Amiens | 476 Arras | 970 Archsum |
| 344 Tongres | 521 Vendeuil-Caply | 972 Vigneux-sur-Seine |
| 346 Amiens | 524 Sauve | 985 Reims |
| 362 Saint-Brice-sous-Forêt | 548 Genainville | 986 Noyon |
| 376 Verneuil-en-Halatte | 565 Arcis-sur-Aube | 987 Noyon |
| 377 Verneuil-en-Halatte | 578 Epiais-lès-Louvres | 988 Noyon |
| 378 Serris | 579 Bouxières-sous-Froidmont | 1201 Lieusaint |
| 379 Somain | 580 Rimling | 1203 Nangis |
| 380 Bussy-Saint-Martin | 742 Savy | 1204 Cesson 1 |
| 381 Verneuil-en-Halatte | 743 Amiens | 1207 Saint-Brice-sous-Forêt |
| 382 Limetz-Villez | 867 Isneauville | 1217 Lesquin |
| 383 Guiry-Gadancourt | 874 Dechy | 1218 Saint-Christ-Briost |
| 384 Chessy | 885 Savy | 1617 Allaines |
| 385 Plessis-Gassot | 886 Amiens | 1618 Catigny |
| 386 Athies-sous-Laon | 888 Sillery | 1619 Houdan |
| 387 Guiry-Gadancourt | 906 Sint-Gillis-Waes | 2217 Lesquin |
| 388 Ghislenghien | 907 Merelbeke | 2218 Lieusaint |

- bâtiment avec partie stabulation/ excréments
 - écurie
 - étable
 - bergerie/ écurie/ étable
 - bâtiment/ cour domestique et/ou artisanal
 - aire à battre le grain
 - ▶ atelier travail de l'os
 - ◆ boulangerie
 - ▶ zone de forge
 - ★ atelier textile
 - ▲ moulin à eau
 - grenier
 - ◆ grange
 - ◆ cave/cellier
 - ★ bâtiment à vocation religieuse
 - ▲ poteau isolé de grande taille
 - ↑ bois sacré
 - ↑ palissade
- époque romaine
 - Haut-Empire romain
 - Bas-Empire romain

Méthode des tests

La méthode utilisée lors de la phase de tests préalables aux analyses applique le protocole établi par Eidt², qui permet de traiter une grande quantité d'échantillons à faible coût. 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, et qu'ils soient de préférence secs ou légèrement humides.

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

Les tests nécessitent trois réactifs : le premier permet la libération du phosphore ; le second permet la formation d'un précipité bleu issu du phosphore libéré ; le dernier permet de stopper la réaction afin de donner un temps de réaction identique aux différents échantillons.

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.

Deux présentations des résultats sont proposées. La première présentation est brute, les symboles colorés positionnés aux endroits exacts des prélèvements correspondent aux classes regroupant les différents échantillons. La seconde présente des aires de concentrations par l'interpolation des résultats bruts.

L'effet des réactifs étant influencé par la température ambiante lors de leur utilisation, par le temps écoulé depuis leur élaboration et par la façon dont ils sont appliqués (proximité de l'échantillon, impact des gouttes, manière d'étaler le sédiment sur le filtre, etc.), il est préférable que tous les tests conduits sur les échantillons provenant d'un site ou d'une aire à étudier soient réalisés en une fois par un intervenant unique.

À défaut, des séries successives seront calibrées par un nombre conséquent d'échantillons communs, rendant les tableaux de classement comparables entre eux. Néanmoins, dans ce cas, il s'avère souvent nécessaire de limiter le nombre des catégories reprises dans ces classements afin d'en assurer la comparabilité.

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 taches observées. C'est une méthode relative qui permet de comparer les résultats obtenus au sein d'un site ou au sein d'une même série de tests, qui peut, elle, reprendre plusieurs sites.

Nécessité des analyses chiffrées

Si, à l'issue de cette phase d'évaluation, des corrélations fortes apparaissent entre les accumulations de phosphore et le plan des structures archéologiques, des analyses chiffrées sont à envisager. Celles-ci permettront de proposer des hypothèses quant à l'origine des activités ayant enrichi le substrat en phosphore.

Idéalement, 50 % des tests, sur ces zones positives, doivent être traités en analyses avant de permettre une interpolation des résultats. Les tests de phosphore ne permettant pas de différencier phosphore inorganique et phosphore organique, une extrapolation sur base de quelques résultats est hasardeuse ; il est donc important de traiter le plus d'échantillons possible afin d'éviter de surinterpréter les résultats obtenus. Ces analyses sont alors confiées aux laboratoires de l'Université de Gand ou de Tours, qui utilisent la méthode Mikkelsen³, qui permet de définir les parts respectives du phosphore inorganique et du phosphore organique dans l'échantillon étudié. Cette méthode, contrairement à la méthode Blake qui extrait plus de 90 % du phosphore compris dans l'échantillon en extrayant également le phosphore structurel, n'attaque que la partie non structurale du phosphore présent dans l'échantillon. Ce choix découle du fait que les études utilisant le protocole de Blake

2- Eidt 1984.

3- Mikkelsen 1997 ; Liard 2009.

portent sur des sols acides incluant peu de phosphore structurel (podzols), alors que certains des sols concernés par notre étude (luvisols sur loess et rendzines) peuvent contenir plus de phosphore structurel. Il est important pour notre étude de ne pas atteindre ce type de phosphore afin de permettre la corrélation des résultats entre différents sites de notre corpus.

Les résultats chiffrés obtenus sont alors confrontés aux conclusions de l'étude pédologique (analyses de chimie du sol, à réaliser également sur les profils de référence). Cela doit permettre 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) afin de pouvoir interpréter les résultats obtenus sur le site.

Mode de présentation des résultats d'analyses

Les études qui suivent permettent d'exposer les principaux problèmes existant en matière de phénomènes post-dépositionnels affectant la préservation du signal phosphore et de présenter les résultats les plus explicites. Les analyses chiffrées sont exprimées en termes de concentration du sédiment en phosphate total (P_{tot}, extraction à l'acide sulfurique). Cette donnée reprend la valeur mesurée de phosphate inorganique (P_{inorg}) d'une part, et la valeur calculée de phosphate organique (P_{org}) d'autre part.

Notons que la plupart de nos échantillons proviennent d'horizons sous-jacents aux couches d'occupations. Ceux-ci sont donc naturellement peu humifères et n'incluent normalement qu'une faible fraction de P_{org} (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 (P_{totr}) 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 P_{inorg} et P_{org} dans le sol⁴. Par conséquent, on ne peut considérer l'entièreté du P_{org}, même dans un milieu ayant subi des enrichissements récents, comme une contamination moderne. Cette partie ancienne du P_{org} est en effet représentative d'une accumulation ancienne et doit être intégrée à une valeur de P_{tot} afin d'interpréter au mieux nos résultats. La valeur P_{totr} 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.

EXEMPLES MÉTHODOLOGIQUES : QUELS FACTEURS INFLUENCENT LA PRÉSERVATION DE L'ENREGISTREMENT DU SIGNAL PHOSPHORE ?

Pour rappel, pour une bonne reconstitution des environnements originels, la prise en compte des facteurs influençant la préservation du signal phosphore est au moins aussi importante que le résultat du test de phosphore ou de l'analyse chiffrée. Avant toute discussion des résultats, il est donc essentiel de préciser ces facteurs. Dans ce qui suit, nous énumérons ces facteurs⁵ et les illustrons à l'aide d'exemples parlants.

Impact de l'érosion et comment contourner ce facteur

La perte des niveaux de sols d'occupation anciens (horizons de type A) est une chose courante. La plupart des surfaces décapées ne nous permettent que l'accès aux horizons sous-jacents. Nous parvenons à extrapoler les valeurs originelles des horizons de surfaces sur la base des taux observés sur ces horizons Bt ou B lorsque le taux d'érosion n'excède pas 10 à 40 cm selon le type de sol.

4- Proudfoot 1976.

5- Langohr 1994 ; 2001. D'autres facteurs à prendre en compte plus spécifiquement pour l'étude du phosphore sont énumérés dans Devos *et al.* 2011.

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 comme à des facteurs humains (terrassment, chemins).

Il est intéressant de se demander si l'on peut contourner le problème de l'érosion dans le cadre d'une cartographie du phosphore. Si les horizons porteurs d'une information chimique exploitable ont été entièrement érodés, il reste des endroits dans lesquels l'enregistrement peut avoir été préservé. Pour les unités architecturales, il s'agit avant tout des trous de poteaux lorsqu'elles en sont pourvues. Or l'établissement d'une cartographie du phosphore sur base de structures en creux doit être envisagé avec prudence, car celle-ci est confrontée à trois problèmes de taille. 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 correspond à la surface de sol visée par la cartographie du phosphore comme le propose P. Reynolds sur la base des expérimentations⁶. 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 poteau a connu des conditions d'hydromorphie susceptibles d'avoir mobilisé et déplacé le phosphore dans ou même à côté de la séquence de comblement de celui-ci, ou dans le profil sous-jacent.

Si des études fondées sur les contenus de trous de poteaux ont permis de recueillir des données exploitables, il faut néanmoins considérer leurs conclusions avec prudence. Le lien de synchronicité et de fonction reste ainsi plus hypothétique pour les contenus des trous de poteaux que pour la surface d'occupation ou l'encaissant sous-jacent à celle-ci, qu'il s'agira par conséquent de privilégier pour les cartographies chimiques.

Néanmoins, en partant de l'hypothèse qu'un tel lien puisse être établi, quelques tentatives ont été réalisées, en veillant à choisir l'endroit de l'échantillonnage au sein du remplissage. Pour l'époque romaine, cette démarche a été menée avec succès sur les sites de Parville (Eure)⁷ et de Saint-Brice-sous-Forêt (Val-d'Oise)⁸. À Parville, des restitutions de la forme complète des unités architecturales et des différenciations fonctionnelles ont été proposées par M. Liard à partir de l'étude chimique des contenus des structures en creux. À Saint-Brice-sous-Forêt (Val-d'Oise), les contenus de trous de poteaux ont confirmé et légèrement précisé la cartographie obtenue⁹ sur la surface décapée (fig. 2 et 6). Une restitution de la morphologie des aménagements architecturaux a pu être proposée ainsi qu'une interprétation de leur modalité d'utilisation.

Perte partielle de l'information chimique liée au type de sol

La capacité d'un substrat à fixer le phosphore et la distribution verticale de cet élément dans la pédo-séquence varient en fonction du type de sol. 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 substrat¹⁰. Ces facteurs varient fortement entre les différentes classes de sols et entre les différents horizons formant un sol. 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 phosphore¹¹. Cela est également vrai pour les planosols (argileux).

Un matériau loessique 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). Notons que nous assistons à un affaiblissement de la qualité de l'enregistrement avec la

6- Reynolds 1995 : ferme expérimentale de l'âge du Fer de Butser, Angleterre ; renseignement personnel L. Berrio.

7- Liard 2010 et communication personnelle.

8- Rouppert *et al.* 2009 ; *id.* 2011 ; Fechner 2011.

9- Voir *infra*.

10- Devos *et al.* 2011.

11- Voir par exemple Macphail *et al.* 2004.

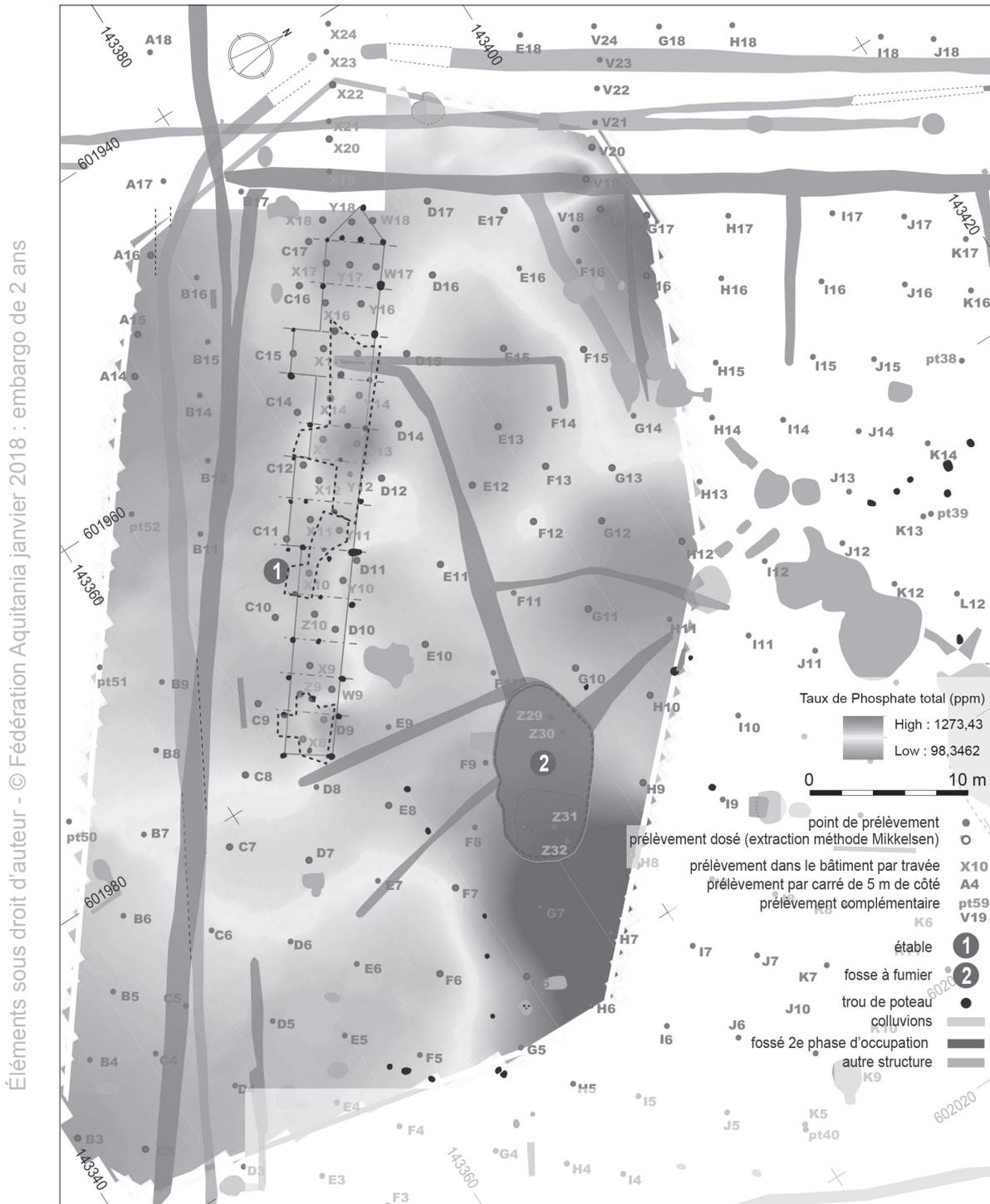


Fig. 2. Cartographie du phosphate interpolée du bâtiment de Saint-Brice-sous-Forêt (Val-d'Oise) et de la partie occidentale de l'enclos qui l'entoure (réalisation V. Rouppert, F. Prodéo, K. Fechner, F. Broes ; topographie P. Lenhardt ; cartographie/SIG F. Prodéo ; DAO I. Pasquier, T. Mazière). Les zones entourées d'un pointillé représentent l'interprétation des zones enrichies du bâtiment et de la grande fosse adjacente, plus précises car basées sur l'ensemble des données (tests de phosphore, analyses de phosphore, y compris dans la fosse et dans les contenus de trous de poteaux).

profondeur. Cet effet de dilution rend plus complexe et risqué le travail de reconstitution des taux originels libérés au sommet de la pédo-séquence que de ceux rencontrés dans un sol d'occupation.

Un substrat sableux développé sur un podzol 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 planosol bien conservés seront plus proches des taux initiaux que ceux mesurés sur un podzol ou un luvisol.

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. Ce facteur est d'autant plus en cause lorsque certaines zones du substrat présentent des accumulations hétérogènes de phosphore non archéologique comme cela est observé pour certains dépôts crayeux.

Le site de Saint-Christ-Briost (Somme)¹² est un exemple caractéristique de tests et analyses menés sur des unités architecturales à cheval sur deux types de matériaux encaissants qui réagissent différemment, tant lors des tests que lors des analyses. On observe une zone de craie disloquée et phosphatée en partie aval du décapage, un glaciaire de silex associé à de l'argile en partie médiane de celui-ci et des dépôts limoneux développés en luvisol en partie amont (fig. 3). Chacun de ces matériaux fixe différemment le phosphore. Les mesures provenant de ces différentes zones de travail ne peuvent être interprétées selon des critères semblables et ne peuvent être comparées directement. De plus, la topographie du site induit une érosion différentielle des dépôts qui crée des zones plus ou moins érodées, donc plus ou moins éloignées de la surface d'occupation originelle dont provenait l'élément chimique.

Nous avons par conséquent décidé d'interpoler des mesures réalisées sur des échantillons provenant de même isoplèthe et prélevés sur un même substrat. Ici, le long bâtiment traité ne montre de différence entre l'extérieur et l'intérieur que sur les tests de phosphore, et non sur les analyses. De ce point de vue, il ne semble pas avoir eu une activité produisant une plus forte pollution de sa surface intérieure. Tout au plus une légère anthropisation ou une pollution postérieure de l'intérieur est-elle perceptible dans les tests. Cela a permis de prouver que le bâtiment principal du site n'avait pas connu d'enrichissement important et ne pouvait par conséquent pas être lié à une activité d'élevage.

Préservation du signal phosphore en fonction du matériau

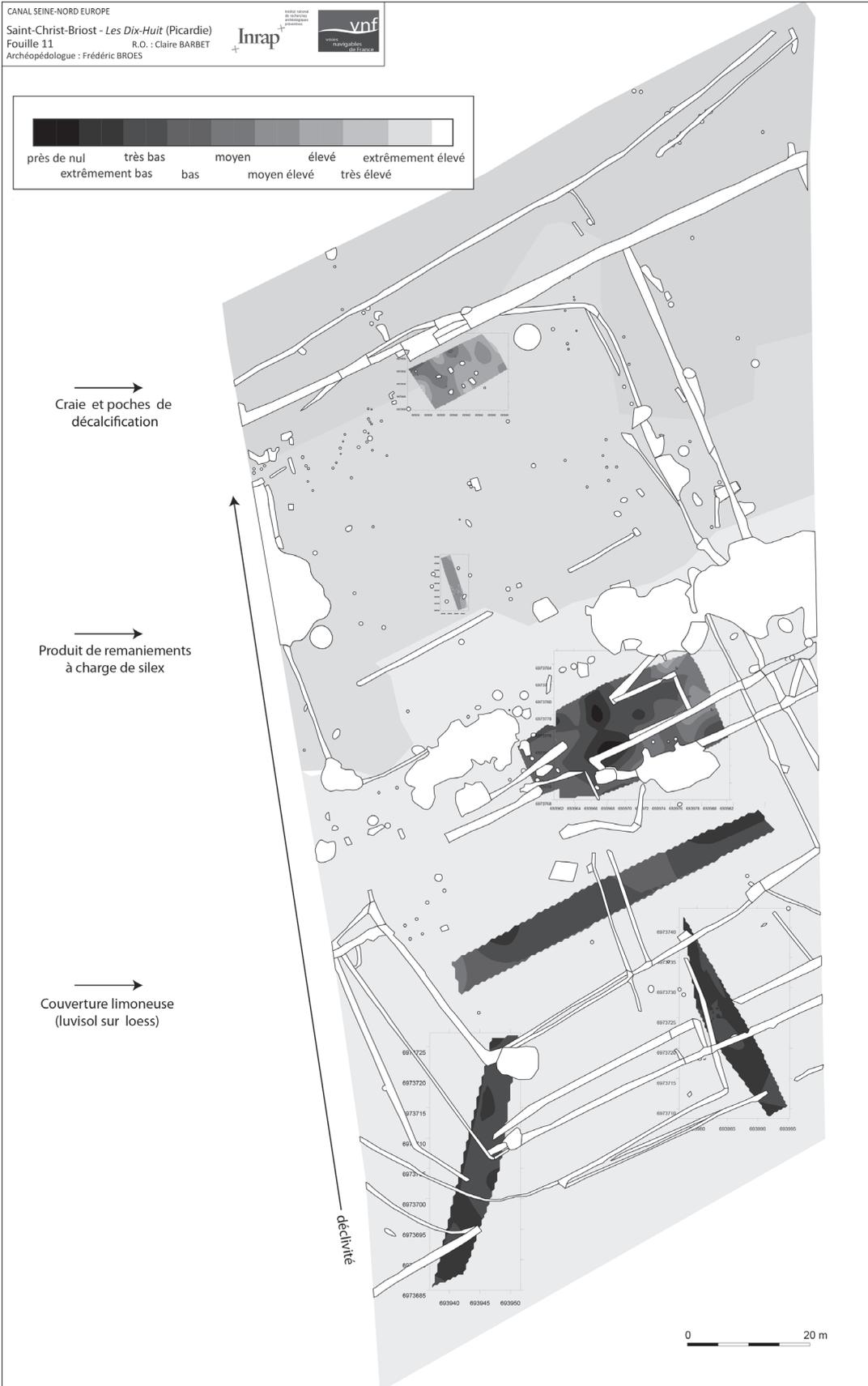
L'impact d'une nappe phréatique empêche, en général, de proposer une étude chimique. En effet, dans ces conditions, les oxydes et les hydroxydes (dont le phosphate = P_2O_5) risquent d'être massivement déplacés verticalement et horizontalement dans la pédo-séquence et, cela, après leur libération dans celle-ci. 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 planosol, à de forts transferts latéraux alors que les transferts seront principalement verticaux pour un luvisol ou un podzol.

Le site de Brecht (prov. d'Anvers, Belgique ; RO : V. Van Wesenbeek)¹³ témoigne d'une telle influence de conditions hydromorphes sur la préservation du signal phosphore dans un sol drainant. Certains bâtiments y sont en partie atteints par une nappe battante. Installés sur un podzol, les niveaux d'occupation montrent souvent les traces d'un très mauvais drainage (fig. 4). Deux bâtiments ont été traités. Le premier, situé dans la zone d'influence de la nappe phréatique, a vu son phosphore entièrement lessivé. Le second, moins touché par l'hydromorphie, a livré des taux pouvant monter à 700 ppm de phosphore total (P_{tot}) dans les couches de déjections en place dans la zone de stabulation. Cette dernière a vu sa nature confirmée par une étude pédologique et micromorphologique détaillée¹⁴.

12- Barbet, éd. à paraître.

13- Langohr *et al.* 2004.

14- *Ibid.* et C. Nicosia communication personnelle.



Éléments sous droit d'auteur - © Fédération Aquitania janvier 2018 : embargo de 2 ans

Fig. 3. Cartographie des tests de phosphore du bâtiment 1 de Saint-Christ-Briost (Somme) et de l'enclos qui l'entoure (réalisation F. Broes), illustrant l'impact de la variabilité des matériaux encaissants sur ces tests.



Fig. 4. Vue de la maison-étable du site de Brecht (Anvers, remerciements : V. Van Wesenbeek, J. H. Mikkelsen, R. Langohr). Au premier plan, on aperçoit des zones plus orangées de précipitations de fer dues à la remontée de la nappe phréatique.

À titre de comparaison, des sites sur des sols de même nature dans le sud des Pays-Bas peuvent atteindre jusqu'à 1 700 ppm de phosphate total dans ce qui est interprété comme une étable de l'âge du Fer (site de Bakel, Pays-Bas¹⁵). Dans de telles conditions de sol, on doit cependant toujours tenir compte de la possibilité d'accumulations locales issues du lessivage voisin des phosphates par une nappe battante.

Le site de Ghislenghien (prov. de Hainaut, Belgique) témoigne, lui, de l'influence de conditions hydromorphes sur le signal phosphore dans un site mal drainé sur argiles. Il s'agit d'un petit enclos de type ferme indigène¹⁶ installé sur un sol développé sur argile glauconifère (sol peu développé de type planosol).

La nappe est absente ou saisonnière (perchée), mais sur ce matériau argileux l'eau de surface et le phosphore sont prisonniers du sommet de la pédo-séquence. Cet impact de l'encaissant contribue à expliquer les taux élevés (3 200 et 3 650 ppm de P total) mesurés dans les deux uniques analyses menées dans le fossé entourant la ferme. La comparaison de ces résultats avec les données provenant de sites aux substrats semblables et présentant les mêmes conditions hydromorphes (fig. 5) classe Ghislenghien dans la gamme élevée (plus de 2 000 ppm), bien distinct des sites à valeurs basses (moins de 2 000, voire de 1 000 ppm). Le fossé étudié a par conséquent connu de forts apports en phosphore, sans doute des matières organiques riches en excréments, contribuant à une réflexion sur les types d'environnements de cette partie du site.

15- Ufkes *et al.* 2010.

16- Deramaix *et al.* 2006.

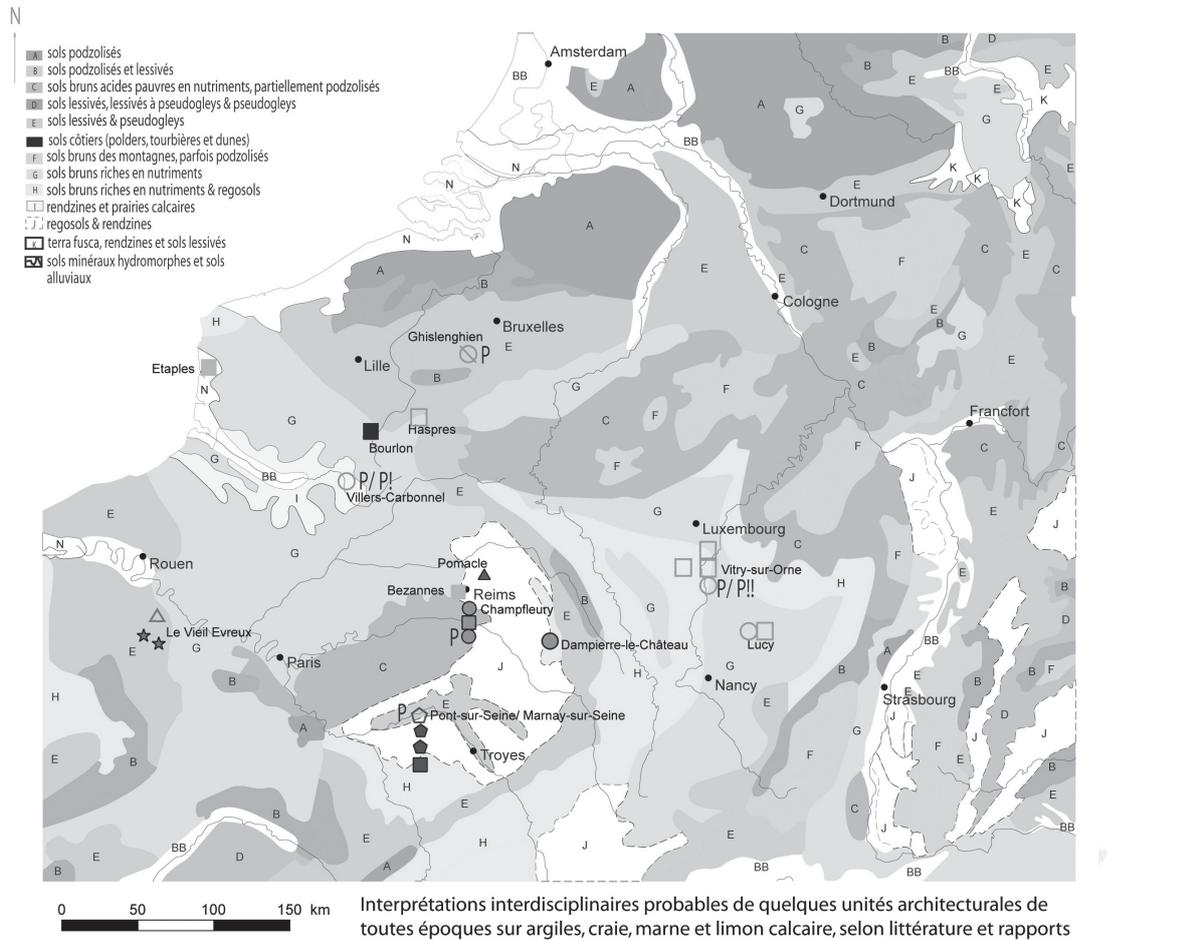


Fig. 5. Carte des unités architecturales implantées sur argile et autres matériaux à forte rétention en phosphore, de différentes périodes. Cela permet la confrontation des valeurs de phosphore total pour des découpages sur sols comparables et la création de valeurs paliers, confirmant que Ghislenghien (Hainaut) présente des valeurs absolues élevées (d'après Ganssen & Hädrich 1965).

Légende : découpages enrichis ou partiellement enrichis en phosphore par rapport à leurs alentours, en tenant compte de la nature du matériau encaissant et des facteurs post-dépositionnels.

- P : enrichi
- P! : fortement enrichi
- P!! : extrêmement enrichi

Taux approximatifs de phosphate total des divers types d'enrichissements:

Types d'encaissant :	Sur argiles, marnes et craie non-phosphatée	Sur limons décarbonatés peu ou pas bioturbés	Sur sables ou limons extrêmement bioturbés
Enrichis :	3000-5000 ppm	1500-2000 ppm	500-1000 ppm
Fortement enrichis :	5000-8000 ppm	2000-5000 ppm	1000-2000 ppm
Extrêmement enrichis :	>8000 ppm	>5000 ppm	>2000 ppm

- ◆ bergerie/écurie/étable sur craie
- habitat/ cour domestique sur craie
- habitat domestique avec partie stabulation/ excréments? sur marne
- habitat/ cour domestique sur marne
- habitat domestique avec partie stabulation/ excréments? sur argile
- ★ bâtiment à vocation religieuse sur argile profondément décarbonatée
- △ habitat/ cour domestique sur argile profondément décarbonatée
- habitat domestique avec partie stabulation/ excréments? sur argile superficiellement décarbonatée
- habitat/ cour domestique sur argile superficiellement décarbonatée
- ◊ habitat domestique avec partie stabulation/ excréments? sur limon calcaire

Impact de la bioturbation

En cas de perturbation de toute la surface par des remaniements biologiques postérieurs (animaux fouisseurs, racines), on assiste à l'intégration du phosphore dans un grand volume de sol. Cela a pour conséquence de diminuer proportionnellement les dosages obtenus au laboratoire par un effet de dilution. Par conséquent, un terrain ayant connu une bioturbation importante mais partiellement érodé pourra être étudié pour peu que la limite d'activité biologique n'ait pas été atteinte. En revanche, cette bioturbation permet la préservation d'un signal sur l'épaisseur de sol concernée par l'activité biologique, y compris donc sur un terrain un peu érodé.

Les taux s'avèrent fortement réduits comme le montrent les rares exemples analysés de profils de référence à bioturbation extrême¹⁷ (fig. 6). Cependant, si elle est possible, la bioturbation complète et profonde telle que définie comme sol anthropique ou *anthroposol* par Langohr¹⁸ n'est pas chose courante dans la région d'étude. Elle a été identifiée notamment à Ribemont-sur-Ancre (Somme) dans un enclos laténien, et à Bruyelle (Hainaut, Belgique) sous la cour de la *pars urbana* d'une villa¹⁹.

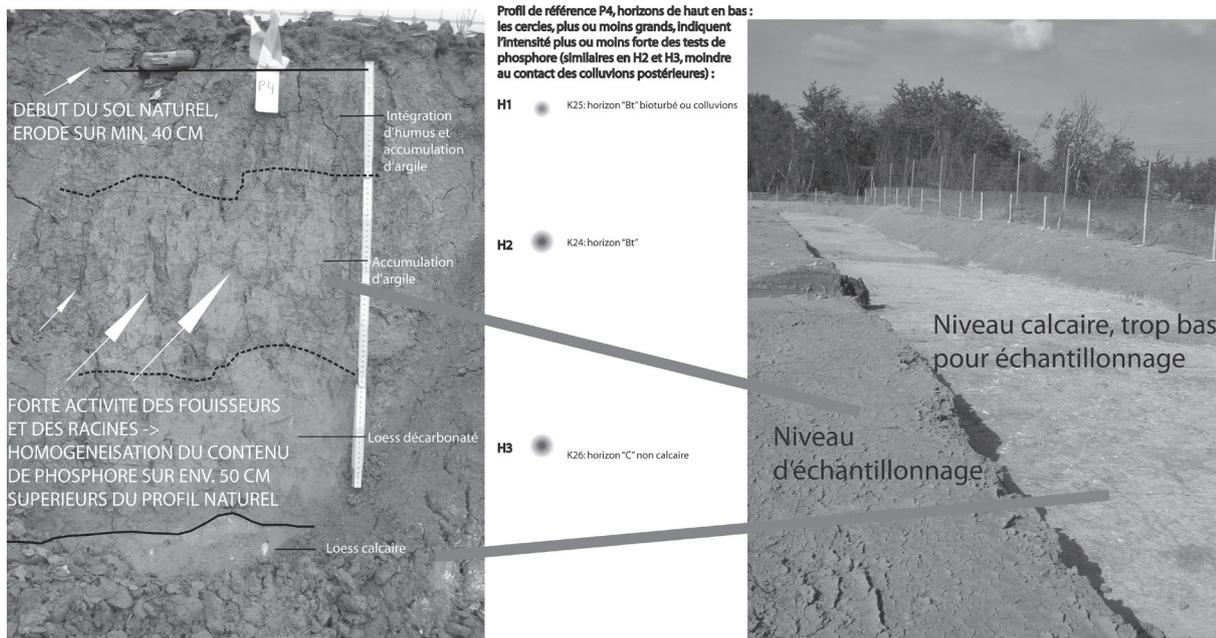


Fig. 6. Profil de référence pour la cartographie du phosphate du bâtiment de Saint-Brice-sous-Forêt (Val-d'Oise) et confrontation avec le décapage de l'enclos (réalisation K. Fechner, V. Rouppert). Il s'agit d'un matériau de limon décarbonaté sur 1 m de profondeur. Cette référence permet de comprendre la variabilité verticale et donc aussi la perte du phosphore au profit des horizons plus profonds, très importante dans ce cas-ci.

17- Fechner 2011 : Savigny-le-Temple et Saint-Brice-sous-Forêt.

18- Langohr 2001.

19- Fechner et al. 2015.

Le site de Saint-Brice-sous-Forêt (Val-d'Oise)²⁰ témoigne le mieux d'une telle bioturbation intense sur un site romain et des sols limoneux décarbonatés (fig. 6). L'intégration du phosphore en profondeur y explique que cet enclos, même dans les espaces liés à l'élevage, atteint seulement 300 à 500 ppm, voire 1 300 ppm de phosphate inorganique dans les structures en creux. De la stabulation est pourtant mise en évidence de façon convaincante dans ces espaces par les données archéologiques et pédologiques, dans le décapage du bâtiment et dans ses poteaux, ainsi que par des données parasitologiques, phytolithologiques et micromorphologiques dans la fosse connectée au bâtiment par un fossé. Les analyses de phosphate contribuent à la délimitation d'un module fonctionnel comprenant le bâtiment, le fossé et la fosse, le tout étant intégré dans un espace fossoyé qui forme une sous-division au sein de l'enclos complet (fig. 2).

Par comparaison, sur des sites semblables non bioturbés comme Lesquin (Nord)²¹, le décapage du bâtiment 3 présente des taux dépassant les 2 000 ppm de phosphore total (Ptot). Il présente une faible bioturbation et une faible érosion, et un sol développé sur limon non calcaire (luvisol) (fig. 7-8). Le fait que le matériau encaissant soit un limon profondément décarbonaté (plus de 2 m) contribue à la différenciation par rapport aux limons à faible profondeur de décarbonatation rencontrés à Saint-Brice-sous-Forêt. Les dosages élevés, supérieurs à 2 000 ppm, sont vraisemblablement liés à la meilleure préservation du signal d'origine et pourraient être ceux présents initialement à Saint-Brice-sous-Forêt. À l'avenir, pour s'en assurer sur ce type de site très bioturbé, une approche du taux de phosphore par unité de volume de sol s'impose afin de permettre des comparaisons avec d'autres sites²².

Le plus petit des deux bâtiments (fig. 8 : bâtiment 9) pourrait rappeler un type considéré comme maison-étable²³, mais dont la petite taille ferait davantage penser à un bâtiment uniquement lié à la stabulation²⁴.

EXEMPLES DE MISE EN ŒUVRE : À LA RECHERCHE DES ÉTABLES

La recherche de cas exemplaires d'étables *stricto* ou *largo sensu* bénéficie du croisement de l'argumentation de différentes disciplines. Cela est plus aisé dans les rares cas où les couches de stabulation sont préservées²⁵. Il est souvent possible d'extrapoler à partir de tels cas vers d'autres unités architecturales identiques et contemporaines²⁶. Que faire quand ces couches ne sont pas préservées, comme c'est notamment le cas pour certaines des maisons-étables de type *potstal* de Flandre et des Pays-Bas, qui n'étaient pas marquées par une fosse pour récolter le fumier et le purin²⁷ ? Les accumulations de phosphore spécifiques à une partie de tels bâtiments peuvent être renforcées par certains traits archéologiques associés : le besoin d'un sol en dur pour certains animaux²⁸, l'exposition préférentielle au nord ou la présence d'un coupe-vent, la présence éventuelle d'une large entrée pour les animaux, le renforcement des parois contre la poussée des animaux, la présence d'un conduit d'évacuation des purins vers un contenant extérieur (fossé, fosse, etc.). Ce dernier peut à son tour être étudié sur le terrain, en lame mince ou par des analyses diverses, pour confirmer l'identification comme fumièrre, fosse à fumier, à purin, etc.²⁹. Le plancher ou l'empierrement du bâtiment a, lui, souvent disparu ou simplement laissé des traces indirectes (compression, oxydoréduction). Il a pu empêcher ou diminuer les infiltrations de phosphore dans le sol encaissant, du moins jusqu'à sa décomposition ou sa récupération³⁰, ce qui a pu influencer sur les taux de phosphore enregistrés.

Les exemples qui suivent sont pour la plupart issus de rapports de l'Inrap. La majeure partie des données brutes des analyses sont présentées dans le tableau 1.

20- Rouppert *et al.* 2009 ; *id.* 2011 ; Fechner 2011.

21- Broes *et al.* 2015.

22- Communication personnelle D. Schwartz, professeur de pédologie à l'Université de Strasbourg.

23- Delaruelle *et al.* 2004 : variante du type Alphen-Ekeren.

24- Communication personnelle W. De Clercq, professeur d'archéologie à l'Université de Gand.

25- Voir, par exemple, Derreumeux in : Quérel *et al.* 2008 ; Langohr *et al.* 2004.

26- Voir, par exemple, maisons-étables à *potstal* : Delaruelle *et al.* 2004.

27- Communication personnelle W. De Clercq.

28- Voir, en particulier, Dufour 2012 et Boulanger 2012.

29- Voir, par exemple, Rouppert *et al.* 2009 ; *id.* 2011 ; Fechner 2011.

30- A contrario : plancher troué qui récolte les urines, Dufour 2007.

I. Décapages sur limons profondément décarbonatés	P tot (moyenne)	Pinorg	Porg spécifique	Pt/Pinorg	Ptot reconstitué (Pinorg+médiane des Porg de tout le décapage)
LESQUIN					
Lesquin int. petit bâtiment n° 9	1569	1373		1,19	1585
Lesquin ext. petit bâtiment n° 9	1445	1212		1,18	1424
Lesquin int. grand bâtiment n° 2	1309	1049		1,25	1261
Lesquin ext. grand bâtiment n° 2	1214	1002		1,2	1214
NOYON					
Noyon bat 12 écurie	2453	2212	241	1,11	2453
Noyon bat 12 stockage	1354,5	1151,5	179,5	1,16	1331
Noyon substrat B22t	1287	1006	281	1,28	1287
MARQUION F32s21 (plus de 2 m de limon décarbonaté)					
Marquion F32s21 bat. L (paléosol)	8377	7739	638	1,08	8377
Marquion F32s21 bat. S annexe int (B22t)	1432	1186	218	1,18	1404
Marquion F32s21 bat. S annexe ext (B22t)	2172	1880	287	1,15	2167
Marquion F32s21 paléosol	3539	3300	239	1,07	3539
Marquion F32s21 substrat B22t	1256	1090	230	1,21	1320
PARVILLE					
Parville bâtiment 1	1802	1673	129	13,97	1789
Parville bâtiment 16 (C)	493	410	84	5,87	526

II. Décapages sur limons superficiellement décarbonatés	P tot (moyenne)	Pinorg	Porg spécifique	Pt/Pinorg	Ptot reconstitué (Pinorg+médiane des Porg de tout le décapage)
HOUDAN					
Houdan 1 (sol)	2045	1890	165	1,06	1990
Houdan 2 (hors sol)	926	838	100	1,09	938
SAINT-CHRIST-BRIOST (1 m de limon/substrat carbonaté, crayeux)					
Saint-Christ-Briost bat int	1484,5	1234,5	222	1,18	1456,5
Saint-Christ-Briost bat ext	1517	1303	208	1,16	1511
Saint-Christ-Briost substrat B22t	1171	972	199	1,20	1171
CESSON I					
Partie interne	904	737	200	1,27	1037
Devant bâtiment	2955	2713	242	1,12	3013
Intérieur bâtiment et alentours proches	1017	797	220	1,23	1097
Extérieur bâtiment sauf alentours proches	859	546	313	1,58	846
Alentours proches	1912	1663	254	1,14	1963
CESSON II					
Partie interne	1125	871	259	1,70	1129
Partie externe	784	594	211	1,33	852
LIEUSAIN					
Partie interne	1885	1534	379	1,27	1824
Partie externe	1056	696	360	1,52	986
Fosses intérieures au bâtiment	1499	953	435	1,30	1243
Fosses extérieures au bâtiment	2964	2556	235	1,10	2846
ALLAINES					
Allaines fosse 401	3646	3370	276	1,08	3646
Allaines bat B accumulation	1543	1266	213	1,17	1479
Allaines bat B hors accumulation	1348	1068	280	1,26	1348
Allaines substrat B22t	1146,5	913	222,5	1,24	1135,5
MARNAY-SUR-SEINE					
Partie interne	1103	814	306	1,41	1176
Partie externe	1256	903	358	1,38	1265

Tabl. 1. Résultats des analyses de phosphate total, inorganique, organique et total reconstitué pour les sites mentionnés, regroupés par types de matériau encaissant comparables (I-IV) et pour les fosses associées à des bâtiments ou des habitats (V). Le dernier de ces trois types de présentation des analyses (Ptot r) est reconstitué en tenant compte de la moyenne des taux de phosphate organique présents sur le site.

III. Décapages sur encaissants calcaires et argiles	P tot (moyenne)	Pinorg	Porg spécifique	Pt/Pinorg	Ptot reconstitué (Pinorg+médiane des Porg de tout le décapage)
SILLERY (sur craie)					
Intérieur bâtiment	3416	3347	57	1,02	3404
Extérieur bâtiment	659	597	62	1,10	654
CHAMPFLEURY (sur craie)					
Site 4 bâtiment à pans coupés	738	622	116		907
Site 4 hors bâtiments et enclos	866	616	250		901
Site 4 dans enclos incluant bâtiments	1324	887	356		1172
Site 1 cour	1135	740	213		1015
Site 1 hors cour et bat	885	688	173		963
SAULCHYLESTREE (CSNE-F32-S8) (sur limon et sol de craie rapportée)					
Intérieur bâtiment B avec passage	1638	1439	199	8,23	1725
Cour bâtiment B avec passage	2887	2559	328	8,80	2845
Cour bâtiment C	2375	2026	349	6,81	2312
GHISLENGHIEN (sur argile non calcaire)					
Fossé de la "ferme indigène"	3412	3337	75	1,02	3412

IV. Décapages sur encaissant fortement bioturbé	P tot (moyenne)	Pinorg	Porg spécifique	Pt/Pinorg	Ptot reconstitué (Pinorg+médiane des Porg de tout le décapage)
CATIGNY	très bioturbé				
Catigny (moins 50 cm limon/substrat carbonaté= sable carbonaté)					
Catigny bâtiment	928	665	235	1,35	900
Catigny substrat	647	465	173	1,37	638
SAINT-BRICE-SOUS-FORÊT (limon superficiellement décarbonaté)	très bioturbé				
Intérieur bâtiment	421	244	193	2,0	440
Trous de poteau bat. Saint-Brice	645	453	212	1,51	649
Extérieur bâtiment	523	337	198	2,0	486
Proche extérieur	515	290	209	3,0	533
SAVIGNY-LE-TEMPLE (sable superficiellement décarbonaté)	très bioturbé				
Savigny-le-Temple intérieur bâtiment rectangulaire à deux nefs Enclos 3 / 2	357	142	215	1,66	293
Savigny-le-Temple intérieur bâtiment carré Enclos 1 / 10	339	129	210	1,61	280
Savigny-le-Temple intérieur bâtiments à pans coupés sélection Enclos 3/1, 1//12 et 2/15	260	104	156	1,67	255
Savigny-le-Temple intérieur bâtiments rectangulaires sélection Enclos 1/9, 1/13	217	104	156	1,39	255
V. Fosses de grande taille associées	P tot (moyenne)	Pinorg	Porg spécifique	Pt/Pinorg	Ptot reconstitué (Pinorg+médiane des Porg de tout le décapage)
RAILLENCOURT-SAINTE-OLLE (sur limons profondément décarbonatés)					
Fosse 26	3300	-	-	-	-
SAULCHYLESTREE (CSNE-F32-S8) (sur limons profondément décarbonatés)					
Mare 1522	3945	3803	143	27,59	4089
Fosse 1410 allongée / profil P12	7172	6545	627	11,44	6831
Hors mare (décapage bâtiments et cours)	3248	2914	334	9,72	3200
ALLAINES (sur limons superficiellement décarbonatés)					
Allaines fosse 401	3646	3370	276	1,08	3646
Allaines fosse bat b	6861	6550	311	1,05	6861
LIEUSAIN (sur limons superficiellement décarbonatés)					
Mare	2055	1700	355	5,79	1990
Hors mare (profil de référence)	829	492	337	2,46	782
SAINT-BRICE-SOUS-FORÊT (limon superficiellement décarbonaté)	très bioturbé				
Fosse-double 1117/1421	1178	973	205	5,75	1169
Fosse de comparaison 1196	1233	847	386	3,19	1043

Cesson “Plaine du Moulin” I et II (Seine-et-Marne, fouilles 2006 et 2008, RO : A. Mondoloni et J. Legriel)

Les unités architecturales analysées sur les sites voisins de Cesson I (2006)³¹ et II (2008)³², sur des limons peu épais et décalcifiés sur moins d'un mètre (fig. 9), rappellent à certains égards un type de bâtiment récurrent sur la côte du Nord de la France au III^e s.³³. En effet, ces bâtiments comportent une pièce de petite taille dont les sols s'avèrent extrêmement riches en phosphore sur l'un de leurs côtés intérieurs.

À Saint-Étienne-au-Mont (Pas-de-Calais), l'interprétation comme étable à bovins a pu être fondée sur le croisement de multiples arguments. Les résultats des analyses d'un ensemble d'éléments chimiques *in situ* (dont le fer, le sodium et le phosphore, en particulier) coïncident bien avec le pourtour de la pièce en question, mais aussi avec des arguments externes comme la composition des rejets révélés par l'archéozoologie et l'archéobotanique dans les structures du site³⁴.

Néanmoins, à Cesson, on ne saurait exclure complètement la possibilité d'une réutilisation d'une partie de la ruine pour et par des animaux. À Cesson II, cette interprétation serait renforcée par la réoccupation partielle du site gallo-romain au premier Moyen Âge (X^e-XII^e s.), en bordure d'un axe de communication majeur reliant Paris à Melun³⁵.

Noyon “La Mare aux Canards” (Oise, RO : M. de Muyllder)

Le site de Noyon “La Mare aux Canards”³⁶ est marqué par la présence d'un limon décarbonaté sans doute peu épais. Dans le grand bâtiment B12, on observe par endroits des taux supérieurs à 2 000 ppm de P inorganique (fig. 10). La répartition de ces enrichissements met en évidence une partition au sein de ce bâtiment, notamment dans la partie septentrionale, qui n'a laissé aucune trace archéologique.

Une grande fosse accolée à ce bâtiment pourrait, sous réserve, avoir collecté des excréments si l'on en juge par son comblement laminé et argileux, particulièrement riche en taches de phosphore. Ici, les hypothèses basées sur la pédologie et l'archéologie *stricto sensu* vont dans le même sens, celui d'un espace probable de stabulation.

Allaines (Somme, RO : É. Gillet)

À Allaines³⁷, un bâtiment sur limon très peu épais présente 1 200-1 400 ppm de P total à l'intérieur des murs, 800-900 ppm à l'extérieur (fig. 11). Implanté sur un haut de pente, le site est affecté par l'érosion. La bioturbation est très présente dans ce type de contexte, où la craie est peu éloignée de la surface et parfois affleurante. L'analyse du fond du comblement d'une grande fosse révèle un taux de phosphate total exceptionnel de 6 550 ppm, qui irait dans le sens d'une forte accumulation d'excréments, eu égard à la rareté ou même l'absence des ossements.

Catigny (Somme, RO : V. Bak)

Le site de Catigny³⁸ est également implanté sur un limon peu épais. La pollution n'atteint ici que 1 200 ppm, mais elle s'avère bien centrée dans le bâtiment (fig. 12). À l'instar d'Allaines, la question de la diffusion profonde, par bioturbation, peut être posée dans ces conditions de sol. Une zone de circulation pourrait être présente immédiatement en aval du bâtiment, où l'on rencontre une légère dépression anthropique qui conserve un horizon de surface sombre. Un fort enrichissement en phosphore y est attesté par les tests. En outre, quelques œufs de parasites y sont présents. Cette zone pourrait correspondre à un secteur aménagé pour récolter les lisiers au sein d'un établissement agricole.

31- Mondoloni, éd. 2007 ; Fechner 2011.

32- Legriel, éd. 2011.

33- Clotuche & Bazile 2006 ; Bazile & Clotuche à paraître.

34- En Lorraine, d'autres auteurs ont montré qu'une pièce allongée, empierrée le long d'un de ses côtés, a pu servir de lieu de stabulation, sans doute de bovins (Boulangier 2012).

35- Legriel, éd. 2011.

36- De Muyllder *et al.* dans ce volume.

37- Gillet, éd. 2014.

38- Bak, éd. 2015.



Fig. 7. Cartographie du phosphate interpolée du long bâtiment n° 2 de Lesquin (Nord). Malgré la présence d'un horizon de surface antique dans ce secteur du site et l'absence de phénomènes post-dépositionnels marquants, aucune valeur élevée de phosphate n'est observée.

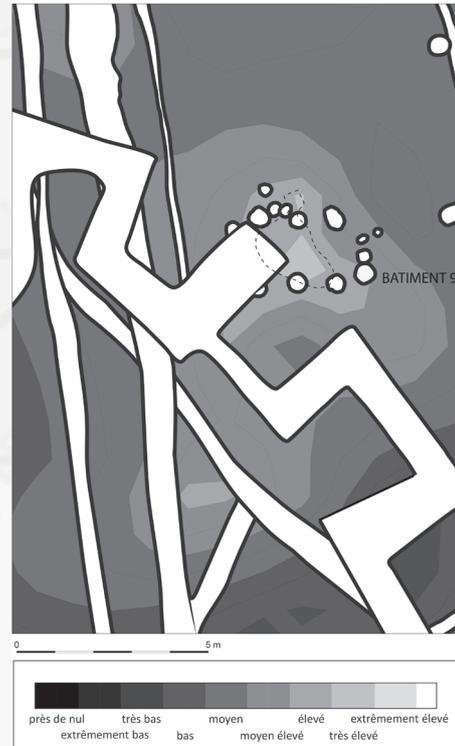


Fig. 8. Cartographie des tests de phosphore interpolée du petit bâtiment n° 9 de Lesquin (Nord). Malgré l'absence d'horizon de surface antique dans ce secteur du site, des valeurs élevées de phosphate sont atteintes dans la plupart des échantillons et absentes autour du bâtiment. Le pointillé correspond à l'interprétation des analyses de P total.

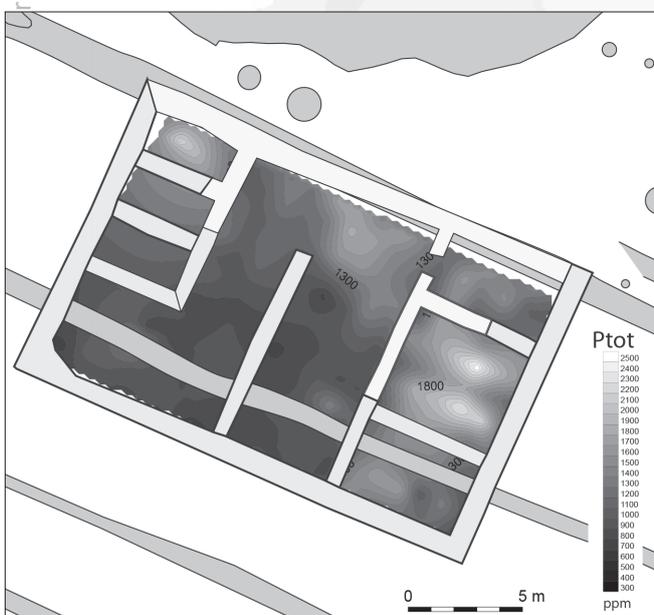
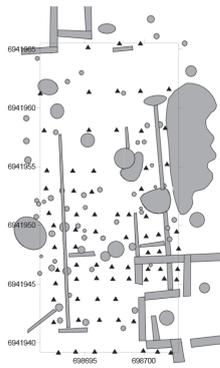
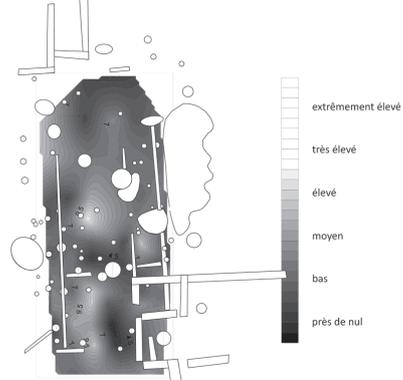


Fig. 9. Cartographie du phosphate interpolée du bâtiment n° 3 de Cesson II (Seine-et-Marne).

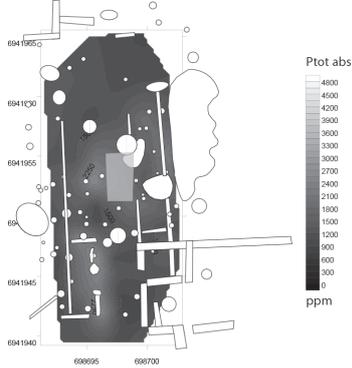
Localisation des échantillons



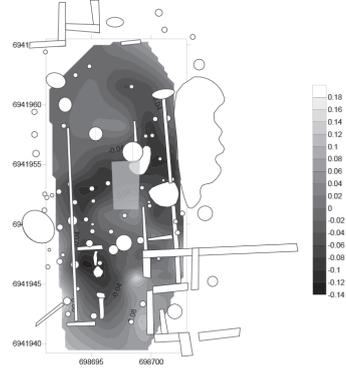
Phosphore : résultats des tests



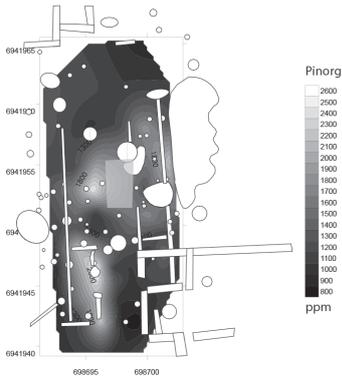
Phosphore total



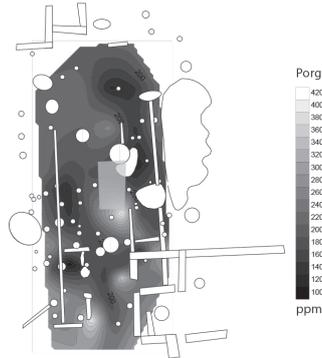
s Ptot/Porg



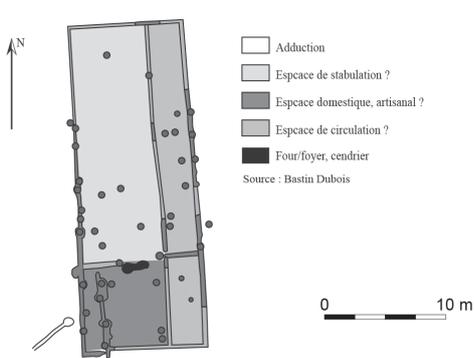
Phosphore inorganique



Phosphore organique



Hypothèse des archéologues



P interprétation

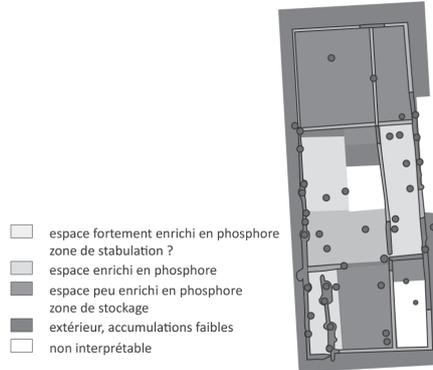


Fig. 10. Cartographie du phosphate interpolée d'un grand bâtiment de Noyon (Oise).



Fig. 11. Cartographie du phosphate interpolée d'un petit bâtiment d'Allaines (Somme).

Houdan (Yvelines, RO : F. Brutus)

À Houdan³⁹, un petit bâtiment sur solin en pierre et façade d'entrée sur trous de poteaux (fig. 13) présente une surface interne humifère, riche en taches de phosphore, près de l'une de ses extrémités. Il est accolé à un large empièchement qui n'a pas été analysé, mais qui peut être interprété comme une cour de ferme. Dans l'extrémité en question, l'hypothèse d'une stabulation ou d'une autre forme d'accumulation d'excréments (soie à cochon, volaille, chien de garde, réserve de fumier, etc.) est compatible avec les données des tests et analyses, au moins pour l'espace qui longe le mur occidental. Les analyses livrent des taux de phosphore trop bas pour qu'il s'agisse d'une zone d'ossements altérés. Deux traces de parasites d'origine humaine ou porcine sont présentes, mais elles restent potentiellement allogènes. Une première tentative de comparaison avec des échantillons actuels permet de montrer que cette partie du bâtiment 1 d'Houdan rappelle davantage les conditions qui régnaient dans une étable à bovins plutôt que dans une chèvrerie. Un rapprochement avec l'étable à bovins gallo-romaine supposée de Saint-Étienne-au-Mont peut être fait. Ces divers éléments archéologiques et environnementaux assemblés et confrontés permettent de reconstituer un tel contexte pour le bâtiment d'Houdan et les structures qui lui sont associées, à un moment donné de leur utilisation.

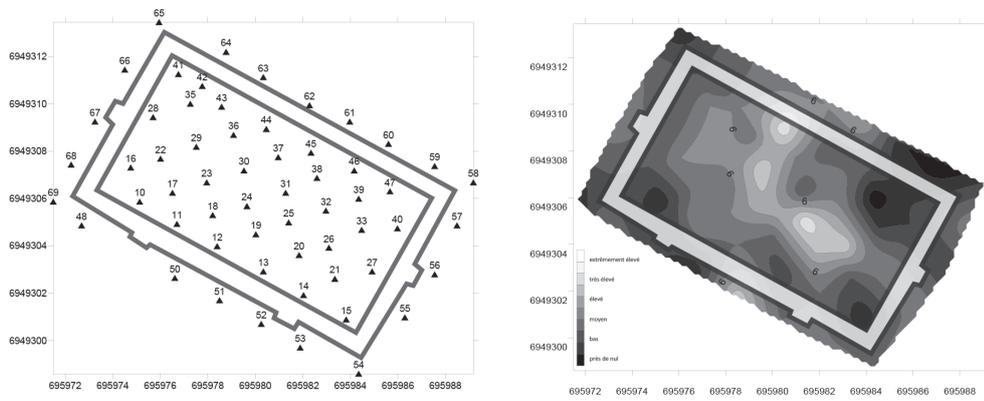
Sillery (Marne, RO : N. Achard-Corompt)

À Sillery (Marne)⁴⁰, dans le bâtiment en pierre 141, on est frappé tant par la forme en abside que par les résultats des analyses de phosphore (fig. 14). On n'y observe en effet que de très rares échantillons aux taux très bas (500-1 000 ppm de P total), et ceux-ci sont extérieurs à la structure (dénommés "entrée" à l'entrée du site, et "extérieur" à l'extérieur de la structure, près de la cave) ; enfin, on note leur décalage net par rapport au reste des taux analysés, tous situés dans le bâtiment. Parmi ces derniers, une seconde césure est présente, entre les séries à moins de 2 500 ppm (1 500-2 500) et à plus de 3 000 ppm (3 000 à 5 100). Les taux de phosphate total sont exceptionnels par rapport à d'autres sites aux sols comparables, qui présentent toujours des taux inférieurs à 3 500 ppm (enclos et maisons de Champfleury) et le plus souvent à 2 000 ppm (enclos et maisons de Buchères). Cela confirmerait l'hypothèse d'un lieu particulièrement pollué par de nombreux excréments, surtout en l'absence d'une quantité significative de restes osseux. Seule une concentration du phosphore par l'eau libre et stagnante permet, dans d'autres contrées, d'atteindre des taux aussi hauts, voire supérieurs⁴¹.

39- Brutus, éd. 2015.

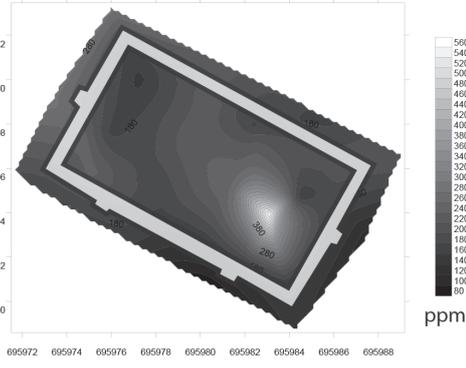
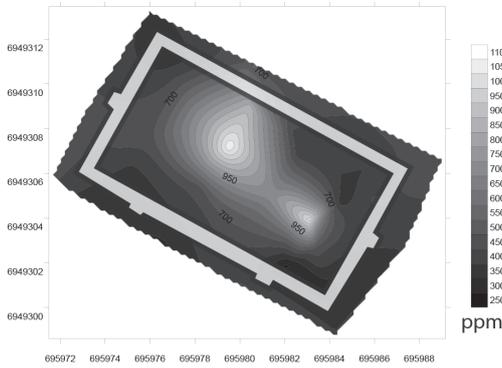
40- Achard-Corompt, éd. 2009.

41- Par exemple, infra, la mare gallo-romaine associée à un bâtiment empièré sur le site de Lieusaint "ZAC de la Pyramide" en Île-de-France : Fechner & Devos 2006 ; Fechner *et al.* à paraître.



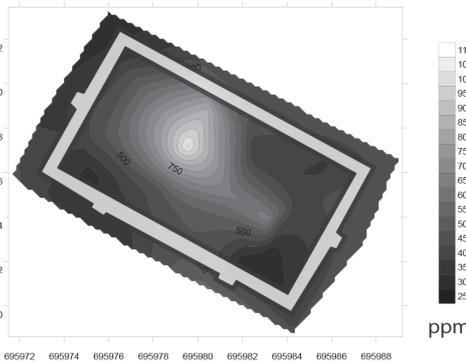
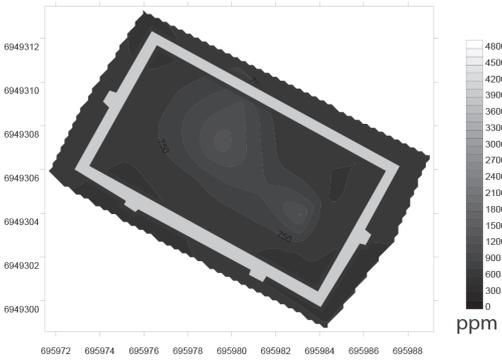
Phosphore Total (intrasite)

Phosphore organique



Phosphore Total (intersite)

Phosphore inorganique



$\sigma_{\text{Pinorg/Porg}}$

$[(\sigma_{\text{Pinorg/Porg}})^2]^{1/2}$

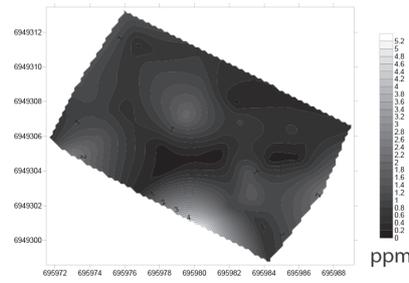
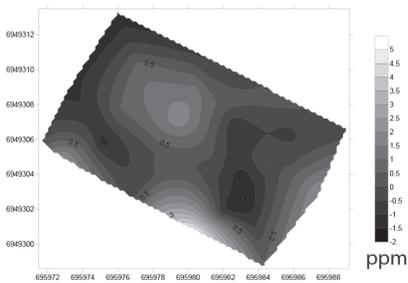


Fig. 12. Cartographie du phosphate interpolée d'un petit bâtiment de Catigny (Somme).



Fig. 13. Vue de la partie du bâtiment n° 1 d'Houdan (Yvelines) riche en phosphore : au sein d'un sol d'occupation humifère, la partie plus claire à l'extrême gauche du bâtiment révèle des taux de plus de 2 400 ppm de phosphate total.

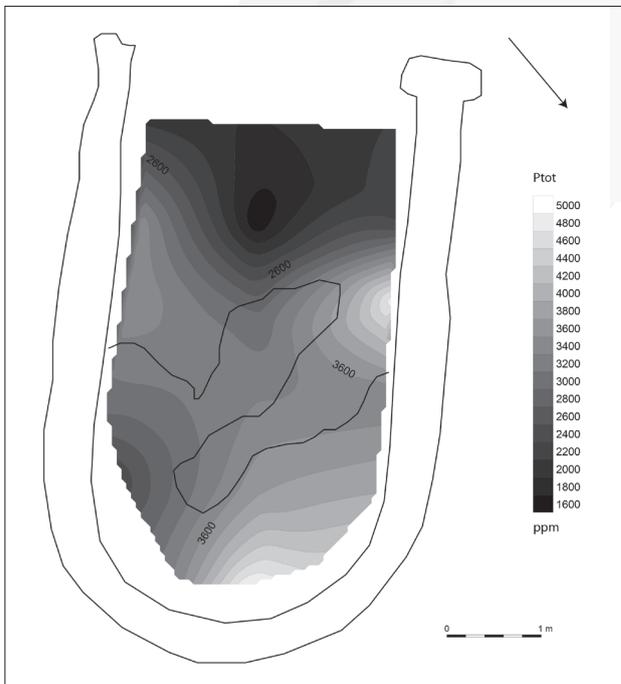


Fig. 14. Cartographie du phosphate interpolée du bâtiment n° 141 de Sillery (Marne).

Un type de bâtiment récurrent sans enrichissement en phosphates

Il est utile de citer brièvement quelques cas à la datation moins précise, faisant partie d'enclos de La Tène finale mais qui ont perduré au début de l'époque romaine. Il s'agit en particulier des bâtiments à pans coupés des enclos de Champfleury (Marne ; RO : H. Boquillon) et de Savigny-le-Temple (Seine-et-Marne ; RO : J. Bruant). Dans les deux cas, on y est frappé par la relative faiblesse en phosphore de l'intérieur par rapport à l'extérieur, et par la confirmation que les pans coupés correspondent à l'environnement plus pollué externe au bâtiment, ce qui est parfois contesté⁴². Des antécédents au plan similaire mais clairement laténiens ont été analysés à Marnay-sur-Seine (Aube ; RO : G. Verrier)⁴³ et à Billy-Bercléau (Pas-de-Calais ; RO : Y. Lorin)⁴⁴. Ils ont les mêmes traits qui caractérisent un type de bâtiment dénué de toute activité polluante ou particulièrement bien protégé des infiltrations issues de celle-ci (plancher ?).

STRUCTURES ASSOCIÉES AUX BÂTIMENTS

Au-delà des bâtiments eux-mêmes, le fonctionnement de sites d'habitat est parfois révélé par des structures adjacentes. C'est le cas d'espaces accolés et associés au bâtiment ("cour" par exemple), déjà mentionnés, comme l'horizon de surface enterré de Catigny ou les fosses de grande taille associées aux bâtiments à Saint-Brice-sous-Forêt, à Allaines et à Noyon⁴⁵. Dans ce qui suit, nous mentionnons quelques cas où c'est l'étude de ces structures associées qui renseigne sur des bâtiments ou leur contexte.

Saulchy-Lestrée

Un autre cas parlant est celui de la villa de Saulchy-Lestrée (Pas-de-Calais, fouille 32, secteur S8 du canal SNE)⁴⁶. Comme les rares autres bâtiments testés ou analysés dans la villa, le bâtiment étudié est moyennement marqué par le phosphore, sans que l'on puisse exclure que des sols de craie aient parfois pu empêcher la pénétration de cet élément. Ses abords immédiats sont pourtant associés à une activité liée au bétail comme le montrent plusieurs arguments concomitants. Le long du bâtiment, un cheminement très riche en phosphore est partiellement encore recouvert de pierres et de fragments de tuiles pour permettre l'accès à une grande mare creusée dans la nappe phréatique, dans le fond d'une tête de vallon naturelle. En second lieu, sur le même versant ouest de cette tête de vallon, on trouve une grande fosse allongée au remplissage particulier : plusieurs comblements hétérogènes près du fond sont riches en lentilles de cendres blanchâtres. L'observation de lames minces montre que celles-ci sont extrêmement riches en phytolithes, et les analyses révèlent la présence massive de phosphore. Ce dernier est concentré dans les charbons de bois. Il pourrait s'agir de rejets massifs de fumier brûlé, ne laissant que des cendres et leurs inclusions chimiques. Une hypothèse alternative serait l'accumulation de déchets de nettoyage de fosses septiques ou de zones de stabulation. Un troisième et dernier indice en faveur d'un contexte lié à l'élevage est rencontré dans la partie basse du versant adverse, oriental, de la tête de vallon. Une grande fosse est interprétée comme une mare hors nappe phréatique : elle est moins profonde et de diamètre plus modeste que celle du fond de vallon. Le fait qu'elle présente à la fois des dosages spectaculaires du phosphore, des lits d'argile déposés sous eau stagnante et des traces de piétinement de grands mammifères laisse supposer un abreuvoir. Un sol en craie à proximité, devant le bâtiment C, est également très riche en phosphore.

Plusieurs des bâtiments et structures en creux de l'angle sud-est de la villa sont donc probablement associés à de la stabulation, mais on ne dispose pas assez d'analyses pour distinguer les particularités d'une pièce et d'un bâtiment à l'autre. L'opposition avec les contextes pauvres en phosphore des autres secteurs prélevés est néanmoins jugée significative. Une telle répartition des activités liées à l'élevage au sein d'un plan complet de villa devrait être retenue sur d'autres sites propices.

42- Fechner *et al.* à paraître.

43- Broes *et al.* 2012.

44- Lorin, éd. 2016.

45- Voir supra.

46- Vanwalscappel 2015.

Marquion

À quelques centaines de mètres de la villa de Saulchy-Lestrée, situé sur un plateau distinct, un des bâtiments fouillés comprendrait une écurie d'après l'interprétation archéologique du plan (annexe du bâtiment E de Marquion sur le secteur S21 de la fouille de la plateforme de Marquion)⁴⁷. Cette hypothèse pourrait être confortée par l'analyse de deux échantillons, dont un prélevé dans une fosse. Cependant, nous n'avons pas pu étudier suffisamment d'échantillons en plan à cet endroit pour la confirmer ou l'infirmier.

Lieusaint

Une mare creusée dans la nappe phréatique de Lieusaint "ZAC de la Pyramide"⁴⁸ est exceptionnellement riche en parasites et en phosphore. Elle jouxte un bâtiment empierré qui a également livré quelques tests de phosphore élevés.

Champfleury

Un cas de "cour" associée à un petit bâtiment rectangulaire en bordure du village de La Tène finale apparaît à Champfleury "La Fosse au Fromage" (Marne ; RO : H. Boquillon)⁴⁹. Le net enrichissement en phosphore correspond à l'espace entre le bâtiment et un fossé au plan en angle ouvert qui le prolonge sur son petit côté.

Autres structures d'eau associées à l'habitat

On peut rappeler ici l'intérêt de distinguer par divers indices les mares à eaux polluées ou pures, des abreuvoirs ou bassins d'eau, au sein et contemporains d'un habitat, pour préciser les fonctions de certaines parties de ce dernier⁵⁰. Une mare hors nappe phréatique tout aussi typée et riche en phosphore que celle de Sauchy-Lestrée caractérise notamment l'habitat romain de Raillencourt-Sainte-Olle (RO : J.-F. Joffroy)⁵¹. Marquée aussi par des piétinements, elle atteste de la présence d'animaux dans les environs. Celles de Nangis "ZAC des Roches"⁵² et de Palaiseau⁵³ attestent au contraire d'un environnement d'eau non polluée par le phosphore. Une ou plusieurs grandes structures (430 et peut-être 289) sans eau permanente (abreuvoir, mare hors nappe ?) sont présentes à Dourges (Pas-de-Calais ; RO : G. Blancquaert)⁵⁴. À Saulces-Montclin (Ardennes), enfin, une doline a servi d'abreuvoir d'après les analyses de phosphore et les observations pédologiques (RO : C. Laurelut)⁵⁵. À noter que l'engorgement en eau y a créé un décalage entre le niveau de piétinement, appauvri, et le sol encaissant plus profond, à forte accumulation de phosphore.

POUR LA MISE EN PLACE DE RÉFÉRENTIELS ACTUELS

Pour aller plus loin, l'interprétation des accumulations bien associées à certaines des unités architecturales et à des espaces liés à l'habitat nécessite le recours à des référentiels actuels. Les données connues pour certaines matières montrent les nettes différences entre les différents types de végétaux, les ossements, les coquilles et les diverses sortes d'excréments. Le tableau 1 présente quelques valeurs actuelles représentatives.

De plus, des données préliminaires peuvent être proposées pour discriminer horizons d'accumulation d'excréments, zones de nettoyage régulier de ces accumulations et niveaux d'inclusion dans leur sub-surface

47- Barbet, éd. à paraître.

48- Fechner 2011 ; Fechner *et al.* à paraître ; Fechner & Devos 2006 ; Mondoloni, éd. 2007.

49- Broes *et al.* 2012.

50- Voir Fechner 2011.

51- Joffroy, éd. à paraître.

52- Fechner 2011.

53- Durand, éd. 2016.

54- Fechner *et al.* 2004.

55- Louwagie & Langohr 1999 ; Laurelut & Louwagie 2002.

(par piétinement). À ce stade, une étable à bovins très riche en phosphore et une chèvrerie nettement moins enrichie peuvent être distinguées en la matière. Si l'on peut estimer dans une certaine mesure la quantité originelle de phosphore liée à une matière donnée, sa préservation différentielle sera ensuite influencée par divers facteurs de formation du sol et leur impact sur l'intensité du signal chimique (CEC, pH, taux de matière organique, hydromorphie). Le phosphore étant un élément relativement stable, les modifications sont assez bien comprises si l'on a récolté les informations nécessaires sur le terrain⁵⁶. La prise en considération des résultats de nombreux sites d'une même région (par exemple pédo-région aux limons profondément décarbonatés, sur argiles, sur sables), aux contextes taphonomiques similaires, contrôlés sur le terrain par un pédologue, a ainsi permis de se rendre compte que l'on pouvait comparer les valeurs de la plupart des unités architecturales entre elles et que seuls quelques cas ne pouvaient être comparés au sein d'une même région. Les raisons de ces exceptions (bioturbation forte de Saint-Brice-sous-Forêt, nappe phréatique à Brecht⁵⁷) sont bien comprises.

En revanche, au sein des cas comparables entre eux, il est réaliste de créer des catégories distinctes que l'on pourra ensuite comparer, non aux valeurs absolues, mais à la progression nette des valeurs de divers matériaux actuels plus ou moins riches en phosphore (tabl. 2).

Plusieurs structures sur limon aux valeurs proches ou légèrement supérieures à 2 000 ppm de P total sont vraisemblablement liées à des accumulations par des bovins, qui auraient ensuite été incluses dans le sommet du sol naturel. C'est ce que montrent F. Bazile et R. Clotuche⁵⁸, et c'est également l'hypothèse avancée pour l'unité architecturale de Houdan. Par comparaison, des structures aussi bien préservées et sur le même type de sol encaissant, mais qui ne présentent que 1 500 à 2 000 ppm de P total, posent la question d'une éventuelle accumulation liée à d'autres animaux (chèvres ?).

À l'opposé, des structures aux valeurs supérieures à 2 500 ppm devront, en contexte limoneux, être interprétées comme lieux de forte accumulation. Enfin, celles supérieures à 5 000 ppm renvoient parfois à la présence passée d'ossements. On notera aussi qu'en contexte sableux et argileux, on dispose encore de trop peu de sites pour établir de telles catégories.

Type de matériaux actuels	Dépôt	Excréments	Dépôt	Excréments	Dépôt	Dépôt	Dépôt	Dépôt
	Porc (purin) (1)	Volaille (1)	Volaille (litière) (1)	Vache (1)	Vache (accumulation étable) (2)	Vache (chemin d'accès) (2)	Chèvre (entrée de chèvrerie, piétinement humide) (2)	Chèvre (accumulation chèvrerie, nettoyage régulier) (2)
Concentration moyenne	32590/ 32952	27830/ 28652	16250	3490/ 3987	4718	3375	2580	950
Fourchette	22990- 39300	19500-36100	12200- 18830	1500-5500	-	-	-	-

- (1) Exprimé en ppm. Source : K. Buckley et M. Makortoff, Phosphorus in Livestock Manures (Agriculture and Agri-Food, Canada, Brandon, Manitoba). In : Farmwest.com.
 (2) Exprimé en ppm. Source : F. Broes.

Tabl. 2. Esquisse de référentiel basé sur les types de matériaux actuels : quelques données de référence disponibles en matière de taux actuels de phosphate total dans divers matériaux liés aux excréments d'animaux.

56- Devos *et al.* 2011.

57- Voir supra.

58- Clotuche & Bazile 2006 ; Bazile & Clotuche à paraître.

BILAN ET PERSPECTIVES

Place des analyses chimiques diversifiées dans l'interprétation

La plupart des unités architecturales et des structures qui leur sont associées n'ont fait l'objet que d'analyses de phosphore et d'observations pédologiques de terrain. Le croisement avec d'autres analyses chimiques et d'autres disciplines environnementales n'est pas toujours possible (taphonomie, budget, etc.), mais s'avère nettement plus parlant en matière d'interprétation. C'est ce que montrent notamment les cas de Saint-Étienne-au-Mont et de Saint-Brice-sous-Forêt, qui en appellent d'autres (par exemple études en cours à Famars, Nord). Au-delà des analyses environnementales, il s'avère indispensable de croiser ces données avec un corpus régional de types de bâtiments et de questionnements archéologiques. Ici, une des questions fondamentales sera l'identification de zones de stabulation autour de bâtiments, telles que celles nécessairement présentes autour des stations routières⁵⁹. L'étude chimique est donc un maillon indispensable de la chaîne de recherche, mais ne peut être envisagée seule.

Un lien utile avec l'application de la parasitologie

En matière de parasitologie, les tests que nous avons tentés sur plusieurs unités architecturales de la région d'étude⁶⁰ ont montré que les parasites ne sont presque jamais conservés pour les sites de l'époque romaine, en dehors de la préservation ponctuelle dans de rares sols d'occupation sombres, humifères (Houdan, Catigny), ou plus affirmée dans des niveaux gorgés d'eau (par exemple dans un contexte archéologique différent, le puits du sanctuaire de Nesle/Mesnil-Saint-Nicaise, Somme ; RO : A. Rousseau⁶¹). La recherche de tels contextes sédimentaires, peu communs dans les unités architecturales, est donc à privilégier et le cas échéant, à exploiter pour une approche croisée entre parasitologie et analyse chimique.

Un lien utile avec l'application de la carpologie et de l'archéozoologie

En ce qui concerne les disciplines plus fréquemment appliquées que sont les études d'ossements animaux et, parfois, l'archéobotanique, elles posent souvent la question du lien effectif entre les rejets dans les structures en creux (par exemple dans les "fosses à fourrage") et les unités architecturales proches⁶². Il est souvent difficile d'établir un lien direct entre carporestes et horizon fonctionnel à l'exception de rares cas, comme celui d'un sol d'occupation préservé avec ces restes non carbonisés en milieu gorgé d'eau, dans une petite structure sur piquets au plan rectangulaire (écurie ou petit enclos à chevaux de Dourges)⁶³.

Quelles activités lorsqu'on n'a que le plan archéologique ?

La typologie des bâtiments associée à des données ethnographiques ne peut vraisemblablement pas être utilisée seule comme argument permettant la détermination de la fonction d'une construction. L'orientation du bâtiment, le dédoublement de certaines de ses parois, la présence d'entrées latérales ou encore son évolution typologique au cours du temps ne sont sans doute, à eux seuls, pas suffisants pour prouver la présence d'activités particulières. Selon nous, le plus fiable est de pouvoir mettre en parallèle ces aspects avec des analyses environnementales dans des couches synchrones et associées.

Réutilisations ou fonction initiale ?

Les cas de Cesson "Plaine du Moulin" I et II posent clairement la question d'une éventuelle réutilisation d'un bâtiment abandonné. À titre d'exemple, celle-ci a notamment pu être prouvée pour un bâtiment agricole médiéval lorrain (site de Lucy⁶⁴) où l'enrichissement en phosphore correspondait à un espace lié à la modification des cloisons internes du bâtiment. Une mise en garde s'impose quant à la possibilité d'une telle réutilisation :

59- Voir par exemple Quérel *et al.* 2008.

60- Fechner *et al.* 2014 ; Maïcher & Le Bailly 2014.

61- Rousseau, éd. à paraître.

62- Voir par exemple les discussions dans Broes *et al.* 2012 ; Gambier *et al.* 2012 ; communication personnelle V. Zech-Matterne.

63- Blancquaert *et al.* 2007 ; Derreumaux in : Quérel *et al.* 2008.

64- Gérard, éd. 2012 ; Gérard 2015.

elle ne doit souvent pas être exclue et peut même dans certains cas être prouvée. Or, cette option peut être dépassée s'il s'avère que des bâtiments de même type, d'une même époque et d'une même région sont marqués par des traits environnementaux caractéristiques d'une activité liée à la stabulation. Les bâtiments à comparer devront provenir de terroirs semblables pour des périodes comparables et présenter des architectures apparentées.

Aussi, pour les sites de l'époque romaine de la région que nous couvrons⁶⁵, 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 à ce sujet, et elles se basent sur la comparaison de plans géographiquement trop éloignés (Lorraine, Pas-de-Calais, Seine-et-Marne). Une autre manière de dépasser cette limitation peut venir des comparaisons ethnographiques et actualistes, pour lesquelles nous proposons que nos plans de fouille analysés par la chimie le soient à leur tour par les spécialistes de l'architecture rurale⁶⁶.

Un type correspond-il à une fonction ?

Une telle démarche systématique de croisement des données a été menée de longue date dans le Nord de l'Allemagne par H. W. Zimmermann⁶⁷, mettant en évidence la fréquence de longues maisons de type maison-étable. Ce chercheur montre cependant aussi qu'un plan bien établi pour une région et une époque peut parfois servir de manière totalement différente, au gré d'un événement ou d'un choix particulier intervenu à cet endroit. Il est utile de garder cet aspect à l'esprit avant d'extrapoler de manière linéaire une interprétation basée sur des analyses environnementales vers tous les bâtiments similaires d'une région.

SYNTHÈSE ET PERSPECTIVES :

CONTRIBUTION À LA CARTOGRAPHIE DE L'ACTIVITÉ ÉCONOMIQUE D'UNE RÉGION

Des interprétations des unités architecturales gallo-romaines comme espaces de stabulation ont été proposées en se basant sur une approche interdisciplinaire. De ce point de vue, dans la région d'étude, les mieux argumentées sont celles des sites de Brecht (Anvers, Belgique), d'Houdan (Yvelines), de Lesquin (Nord), de Noyon (Oise), de Saint-Brice-sous-Forêt (Val-d'Oise) et de Saint-Étienne-au-Mont (Pas-de-Calais). Cette argumentation s'appuie tout particulièrement sur l'échange avec les responsables de fouille et/ou les spécialistes de la typologie de bâtiments. L'intégration de ces études dans une recherche plus large a pour but de proposer des cas particulièrement bien documentés à titre de points de référence⁶⁸.

À ce stade, il est prématuré de tirer de notre corpus des conclusions générales sur les types d'activités économiques associées à une région, sur un lien éventuel entre ces activités et un type de sol, ou encore sur une périodisation précise de ces activités⁶⁹. La cartographie des cas étudiés à l'aide d'une démarche interdisciplinaire n'a pas vocation à proposer des schémas de densité ou de répartition. Elle permet d'interpeller les chercheurs sur les zones ayant fait l'objet d'études plus nombreuses et les zones particulièrement peu étudiées. L'objectif est d'encourager la recherche des sites se prêtant aux démarches présentées ci-dessus, l'augmentation de la taille du corpus étant indispensable pour produire à terme une synthèse pertinente des données.

Pour certaines unités architecturales, les analyses chimiques, surtout du phosphore, permettent d'avancer des hypothèses en matière d'interprétation plus ou moins précises à condition de tenir compte des facteurs de formation pédologique. Il est dommage que l'on n'ait pas plus fréquemment la possibilité ou l'idée de croiser cette analyse avec celle d'autres éléments chimiques qui contribuent à la compréhension de l'origine du phosphore. Enfin, le croisement avec d'autres données (architecturales, ethnographiques, micro-morphologiques, parasitologiques, géophysiques, carpologiques et archéozoologiques) est la plupart du temps fondamental pour passer de l'hypothèse à une argumentation fondée sur plusieurs approches indépendantes.

65- Fechner *et al.* 2014.

66- Voir par exemple Dufour 2012.

67- Zimmermann 2004.

68- Voir par exemple Rouppert *et al.* 2009 ; *id.* 2011 ; Fechner 2011 ; à l'étranger, Macphail *et al.* 2004 ; Migliavacca & Pizzehello 2012.

69- Fechner *et al.* 2014.

Bibliographie

- Achard-Corrompt, N., éd. (2009) : *Sillery "Le Clos Harlogne" (Marne)*, RFO, SRA Grand-Est, Inrap Grand-Est-Nord.
- Bak, V., éd. (2015) : *Catigny (Oise, CSNE, fouille 47)*, RFO, SRA Hauts-de-France, Inrap Canal Seine-Nord-Europe.
- Barbet, C., éd. (à paraître) : *Marquion (Somme, CSNE, fouille 32 – secteur 21)*, RFO, SRA Hauts-de-France, Inrap Canal Seine-Nord-Europe.
- Bazile, F. et R. Clotuche (à paraître) : "A 3rd 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 *et al.*, éd. à paraître.
- Berck, C., F. Guizard et J. Heude, éd. (2015) : *Sols en mouvement, Actes des rencontres internationales de Liessies, 24-25 septembre 2014*, Art et Archéologie 23, Villeneuve d'Ascq.
- Blancquaert, G., éd., avec la collab. de D. Bossut, I. Catteddu, V. Clavel, B. Clavel, R. Clotuche, M. Derreumeaux, L. Deschodt, J.-F. Geoffroy, A. Henton, V. Harvay, J. Lantoine, J.-H. Yvinec et E. Teheux (2007) : *La plate-forme multimodale Delta 3 de Dourges. Premiers résultats des fouilles préventives*, Gauheria.
- Boulanger, K. (2012) : "Vivre avec le bétail. La ferme antique de Bouxières-sous-Froidmont", *Archéopages*, 35, 34-41.
- Broes, F., V. Clavel, W. De Clercq, K. Fechner, V. Rouppert et J. Vanmoerkerke, collab. C. Cammas, Y. Créteur, P. Gambier, G. Hulin, I. Praud, P. Verdin et V. Zech-Matterne (2012) : "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*, 35, 6-16.
- Broes, F., V. Clavel et K. Fechner, avec l'collab. de Y. Créteur, G. Hulin, C. Maïcher et M. Le Bailly (2015) : "La cartographie du phosphore sur les habitats anciens du tracé du Canal Seine-Nord Europe et en Nord-Picardie. Résultats d'une approche archéopédologique", in : *Actes de la journée "Géoarchéologie" de la Société géologique du Nord*, Annales de la Société géologique du Nord, 22, 72-73.
- Brutus, F., éd. (2015) : *Houdan "Route de Campagne", lots A et B (Yvelines)*, RFO, SRA Île-de-France, Inrap Centre-Île-de-France.
- Carver, G., éd. (2004) : *Digging the Dirt. Excavations in a New Millennium*, BAR Int. Ser. 1256, Oxford.
- Cleemput, O., éd. (1994) : *New Waves in Soil Science. Refresher Course for Alumni of the International Training Centre for Post-Graduate Soil Scientists of the Ghent University*, Yogyakarta.
- Clotuche, R. et F. Bazile (2006) : *Saint-Étienne-au-Mont (I^{re}-XIV^e siècles), caractérisation par de nouvelles méthodes*, Archéologie en Nord-Pas-de-Calais 14, Villeneuve d'Ascq.
- Davidson, D. A. et M. L. Scackley, éd. (1976) : *Geoarchaeology*, Londres.
- Delaruelle, S., C. Verbeek et W. De Clercq (2004) : "Wonen en leven op het HSL-traject in de Romeinse tijd (circa 50v.C.-476 n.C.)", in : *Verloren voorwerpen. Archeologisch onderzoek op het HST-traject in de provincie Antwerpen*, Anvers, 189-258.
- Deramaix I., S. Dasseler et G. Dumont (2006) : "Le patrimoine enfoui de la zone d'activité économique de Ghislenghien", in : *Le Patrimoine du Pays d'Ath. Un deuxième Jalón (1976-2006)*, Études et documents du Cercle royal d'histoire et d'archéologie d'Ath et de la région 19, 55-71.
- Devos, Y., K. Fechner et J. H. Mikkelsen (2011) : "The Application of Phosphorus Cartography to Archaeological Structures: the Development of a Protocol", in : Fechner *et al.*, éd. 2011, 9-28.
- Dufour, J.-Y. (2007) : "Trois bergeries médiévales à Roissy-en-France (Val-d'Oise)", *Archéologie médiévale*, 37, 75-94.
- (2012) : "Tables à bovins, écuries, bergeries, porcheries. Manuels agronomiques, vestiges médiévaux et modernes en Île-de-France", *Archéopages*, 35, 60-67.
- Durand, J., éd. (2016) : *Palaiseau "Les trois mares" (Essonne)*, RFO, SRA Île-de-France, Inrap Centre-Île-de-France.
- Eidt, R. C. (1984) : "Methodology of Phosphate Analysis: Field Application", in : Eidt, éd. 1984, 33-39.
- Eidt, R. C., éd. (1984) : *Advances in Abandoned Settlement Analyses. Application to Prehistoric Anthrosols in Colombia, S. America*, Milwaukee.
- Fechner, K. (2011) : "Case Studies of Phosphorus Mapping in Late La Tène to Roman Enclosures and Ponds between Rhine and Seine", in : Fechner *et al.*, éd. 2011, 29-64.
- Fechner, K., G. Blancquaert et R. Langohr (2004) : "L'utilité de l'archéopédologie : l'exemple du site du Marais de Dourges (Pas-de-Calais)", *Archéopages*, 12, 10-13.
- Fechner, K., F. Broes et V. Clavel (2015) : "Des sols 'lessivés'. L'évolution différentielle des sols et de l'érosion depuis 3000 ans dans le Nord de la France", in : Berck *et al.*, éd. 2015, 41-57.
- Fechner, K., F. Broes, V. Clavel, C. David, Y. Devos, J. Hus, J. Mikkelsen (à paraître) : "Synthetical Results of a Multi-Proxy Approach to Neolithic to Medieval Houses between Rhine and Seine", in : Fechner *et al.*, éd. à paraître.
- Fechner, K., V. Clavel, C. Deflorenne et Y. Créteur, éd. (2014) : *Rapports 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.
- Fechner, K. et Y. Devos (2006) : *Cartographie des phosphates et étude pédologique sur le site de Lieusaint, ZAC de la Pyramide, quartier F (Île-de-France)*, rapport d'analyse et d'interprétation, Inrap Centre-Île-de-France.
- Fechner, K., Y. Devos, M. Leopold et J. Völkel, éd. (2011) : *Archaeology, Soil- and Life Sciences Applied to Houses, Gardens and Courtyards, Proceedings of the session "From Microprobe to Spatial Analysis. Enclosed and Buried Surfaces as Key Sources in Archaeology and Pedology"*, European Association of Archaeologists, 12th Annual Meeting, Krakow-Poland, 19-24th September 2006, I, BAR Int. Ser. 2222, Oxford.
- (à paraître) : *Archaeology, Soil- and Life Sciences Applied to Houses, Gardens and Courtyards...*, II, BAR Int. Series, Oxford.
- Fechner, K., R. Langohr et Y. Devos (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, éd. 2004, 239-256.
- Gambier, P., V. Zech-Matterne et J. Avinain (2012) : "Interprétation d'un bâtiment par analyse des sols et étude carpologique", *Archéopages*, 35, 17.

- Ganssen, R. et F. Hädrich (1965) : *Atlas zur Bodenkunde*, Mannheim.
- Gérard, F. (2015) : "Le village lorrain du Moyen Âge à nos jours. Architecture et organisation spatiale des maisons", *Archéopages*, 40, 104-119.
- Gérard, F., éd. (2012) : *Lucy (Moselle, 57)*, RFO, Inrap Grand-Est-Nord.
- Gillet, E., éd. (2014) : *Allaines. Une occupation protohistorique et une villa gallo-romaine (Somme, CSNE, fouille 24)*, RFO, SRA Hauts-de-France, Inrap Canal Seine-Nord-Europe.
- Joffroy, J.-F., éd. (à paraître) : *Raillencourt-Sainte-Olle (Pas-de-Calais)*, RFO, SRA Hauts-de-France, Inrap Nord-Picardie.
- Langohr, R. (1994) : "Directives and Rationale for Adequate and Comprehensive Field Soil Data Bases", in : Cleemput, éd. 1994, 176-191.
- (2001) : "L'anthropisation du paysage pédologique agricole de la Belgique depuis le Néolithique ancien. Apports de l'archéopédologie", *Étude et gestion des sols*, 8 (2), 103-118.
- Langohr, R., J. H. Mikkelsen et V. Vanwesenbeeck (2004) : "Twee Romeinse potstallen", in : *Verloren voorwerpen. Archeologisch onderzoek op het HST-traject in de provincie Antwerpen*, Anvers, 207-209.
- Laurelut, C. et G. Louwagie (2002) : "Défrichements et mises en culture d'un secteur marginal à l'âge du Fer : la côte oxfordienne entre Poix-Terron et Villers-le-Tourneur sur le tracé de l'A34 (Ardennes)", *Mémoire de la Société archéologique champenoise*, 16 (1), 2-14.
- Legriël, J., éd. (2011) : *Cesson, Ville nouvelle de Sénart (77), Plaine du Moulin à vent zone Centre : nécropole à incinérations du Bronze moyen, entité agro-pastorale du Hallstatt moyen et occupation antique sur les flancs d'une butte stampienne*, RFO, SRA Île-de-France, Inrap Centre-Île-de-France.
- Liard, M. (2009) : "Méthode phosphore inorganique et organique, d'après un texte élaboré par Jari Hinsch Mikkelsen en 1997", *Géoarchéologie*, [en ligne] <<http://geoarch.free.fr/spip.php?article71>>, consulté le 24 août 2017.
- (2010) : "Site 'Le bois de Parville'. Étude géoarchéologique. Résultat des analyses chimiques (mesure du C, N, P et du pH)", in : Lucas, éd. 2010.
- Louwagie, G. et R. Langohr (1999) : *A34. Section Poix-Terron/Villers-le-Tourneur (France)*, rapport archéopédologique, Gent.
- Lorin, Y., éd. (2016) : *Billy-Bercléau (Pas-de-Calais)*, RFO, SRA Hauts-de-France, Inrap Nord-Picardie.
- Lucas, D., éd. (2010) : *Parville (Eure) "Le Bois de Parville". De la ferme gauloise à la villa gallo-romaine*, RFO, Inrap.
- Macphail, R. I., G. M. Cruise, M. J. Allen, J. Linderholm et P. Reynolds (2004) : "Archaeological Soil and Pollen Analysis of Experimental Floor Deposits ; with Special Reference to Butser Ancient Farm, Hampshire, UK", *Journal of Archaeological Science*, 31, 175-191.
- Maïcher, C. et M. Le Bailly (2014) : *Sites étudiés dans le cadre du projet PAS 2712 de l'Inrap. Compte-rendu de l'analyse paléoparasitologique*, Besançon.
- Migliavacca, M. et D. Pizzehello (2012) : "Soil Chemical Analysis Supports the Identification of Ancient Treading Structures", *Quaternary International*, 275, 128-136.
- Mikkelsen, J. H. (1997) : "Laboratory Method for Determination of Organic, Inorganic and Total Phosphate", in : *Round Table I, Micromorphology and Phosphate. Report on Workshop of Archaeological Soil Micromorphology, University College London, 24-26 March 1997*, [en ligne] <<http://geoarch.free.fr/IMG/pdf/Methodephosphore.pdf>>, consulté le 24 août 2017.
- Mondoloni, A., éd. (2007) : *Lieusaint "Zac de la Pyramide" (Seine-et-Marne)*, RFO, SRA Île-de-France, Inrap Centre-Île-de-France.
- Proudfoot, B. (1976) : "The Analysis and Interpretation of Soil Phosphorus in Archaeological Contexts", in : Davidson & Sackley, éd. 1976, 93-113.
- Quérel, P., avec la collab. de R. Blondeau, R. Clotuche, G. Delepierre, M. Derbois, M. Derreumaux, F. Lemaire, Y. Lorin, D. Maréchal, C. Quérel, C. Séverin et N. Soupert (2008) : "Chemins, gués et établissements routiers dans l'Ouest de la Gaule Belgique", *RAPic*, 3-4, 85-122.
- Reynolds, P. (1995) : "Life and Death of a Post-hole", in : Shepherd, éd. 1995, 20-25.
- Rouppert, V., J.-Y. Dufour et K. Fechner (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, 1-3, rapport de fouille*, Inrap Centre-Île-de-France.
- (2011) : "Confrontation of the Archaeological and Pedological Approaches : a 1st-4th c. AD Enclosure with Agricultural Vocation at the Chapelle Saint-Nicolas in Saint-Brice-sous-Forêt (Val-d'Oise, France)", in : Fechner et al., éd. 2011.
- Rousseau, A., éd. (à paraître) : *Nesle/Mesnil-Saint-Nicaise (Somme, CSNE, fouille 40)*, RFO, SRA Hauts-de-France, Inrap Canal Seine-Nord-Europe.
- Shepherd, E., éd. (1995) : *Interpreting Stratigraphy 5, Proceedings of a Conference Held at Norwich Castle Museum on 16th June 1994*, Norwich.
- Ufkes, A., avec la collab. de S. M. Beckerman, K. L. B. Bosma, N. Bottema-Mac Gillavry, O. Brinkkemper, H. Buitenhuis, M. Daleman, D. J. Huisman, B. Huizenga, M. Schepers, J. Schoneveld, W. J. F. Thijs, J. R. Veldhuis et M. Van Waijjen (2010) : *"De Hof" Een bezit van klooster Echternach. Een archeologische opgraving van sporen uit de IJzertijd en de Volle Middeleeuwen op het plangebied "Neerakker" te Bakel, gemeente Gemert-Bakel (Noord-Brabant)*, ARC Publicaties 204, Groningue.
- Vanwalscappel, B., éd. (2015) : *Sauchy-Lestree (Pas-de-Calais, CSNE, fouille 32 – secteur 8)*, RFO, SRA Hauts-de-France, Inrap Canal Seine-Nord-Europe.
- Zimmermann, W. H. (2004) : "Vom Pfostenloch zum Hausbefund", *Archäologie in Deutschland*, 2, 18-20.

