

Identification d'une bergerie dans la villa gallo-romaine de l'ancien hippodrome d'Évry (Ris-Orangis, Essonne) : l'apport décisif des marqueurs lipidiques

Identification of a sheepfold in the Gallo-Roman villa of the former Évry racecourse (Ris-Orangis, Essonne): the decisive contribution of lipid markers

Alexandra MONDOLONI¹, Jean-Yves DUFOUR², Frédéric BROES³, Alice CAO⁴,
Loïc HARRAULT^{4,5}

¹ Inrap. alexandra.mondoloni@inrap.fr

² Inrap, UMR 7041, équipe Archéologies environnementales. jean-yves.dufour@inrap.fr

³ Inrap HF, U-Gent. frederic.broes@inrap.fr

⁴ Sorbonne Université, CNRS, EPHE, PSL, UMR METIS, F-75005, Paris, France. alicecao@palaeome.org

⁵ Université Brest, CNRS, IRD, Ifremer, LEMAR, IUEM, 29280 Plouzané, France. loic.harrault@gmail.com

RÉSUMÉ. La fouille préventive d'une villa gallo-romaine à Ris-Orangis (Essonne, France) a pu mettre en œuvre un ensemble d'études spécialisées (archéozoologie, cartographie des phosphores, analyse des biomarqueurs lipidiques fécaux) qui permettent d'interpréter l'un des bâtiments d'exploitation comme une bergerie.

ABSTRACT. The excavation of an antique villa in Ris-Orangis (Essonne, France) makes it possible to carry out the different methods of reading (zootechnical, phosphorus mapping and analysis of fecal lipid biomarkers) leading to the interpretation of a building as a sheepfold.

MOTS-CLÉS. Bergerie, Antiquité romaine, Agronomie, Phosphore, Biomarqueurs lipidiques.

KEYWORDS. Sheepfold, Roman Antiquity, Agronomy, Phosphorus, Lipid biomarkers

Introduction

Longtemps, la question de la fonction des bâtiments et des installations agricoles est restée diluée dans la problématique de l'habitat rural, et notamment de la villa. Il en résulte que les bâtiments et autres structures construites affectés aux activités agricoles, le plus souvent évoqués sous le terme générique de « bâtiments d'exploitation », ne sont généralement pas étudiés en tant que tels, et que leur interprétation repose rarement sur un argumentaire archéologique. Le colloque Ager XI, tenu à Clermont-Ferrand en 2014, visait à éclairer la place de ces constructions ou aménagements dans les systèmes de production antiques (Trément, 2017).

La Table ronde organisée en 2022 à Nanterre est une nouvelle étape visant à rassembler les chercheurs de diverses périodes chronologiques, sur la question des méthodes à mettre en œuvre pour identifier le logis animal.

Nous proposons dans cet article, une étude nous semblant aboutie, d'un modeste bâtiment que l'on pourrait interpréter comme une bergerie.

Le site de l'ancien hippodrome d'Évry a été fouillé par l'Inrap sous la direction d'Alexandra Mondoloni, de mai à octobre 2016, sur 36 190 m² au sud-ouest de la commune de Ris-Orangis (Essonne), aux confins des plateaux du Hurepoix et du Gâtinais, entre la vallée de la Seine à l'est et celle de l'Orge à l'ouest. Le site est implanté dans un secteur à faible relief (79 m NGF) couvert de bois avec des petites dépressions et un important réseau de drainage.

Trois occupations rurales y ont été mises au jour. La première peut être datée du Hallstatt ou de La Tène ancienne. La deuxième couvre la période antique de la fin du I^{er} siècle avant J.-C. jusqu'au IV^e siècle ap. J.-C. (**fig. 1**). Après un hiatus durant le V^e siècle, le site est de nouveau occupé au premier Moyen Âge. L'exploitation est délimitée par un enclos quadrangulaire plus ou moins bien défini, souvent agrandi au courant des I^{er}/II^e siècles. Elle adopte le plan standard des établissements de ce type connu dans le nord de la Gaule, caractérisé par une séparation nette entre la *pars urbana* et la *pars rustica*.

Par le nombre et l'organisation des structures bâties, Ris-Orangis peut correspondre à la définition d'une *villa* à bâtiments ou pavillons multiples alignés, selon les critères généralement retenus (Ferdrière *et al.*, 2010). Son plan allongé permet une distinction nette entre les secteurs résidentiel et agricole. La séparation, ici, se matérialise par un mur de clôture interrompu par un porche. La partie agricole de Ris-Orangis mise au jour, ne représenterait que la moitié voire le tiers de la *pars rustica* en son entier. Comme souvent mentionnés dans la littérature, dans les *villae* de plus de 1,5 ha, les bâtiments sont de facture rudimentaire, avec une modestie des installations de confort et une médiocrité des matériaux utilisés (Ouzoulias & Van Ossel, 2009).

Sur le plateau de Sénart, de l'autre côté de sa Seine, plus de 1 500 ha sondés ont donné un bon aperçu des modalités d'occupation du secteur à l'Antiquité. Des travaux de drainage importants ont été réalisés sur l'ensemble du plateau, pour favoriser l'exploitation agricole des sols. Des établissements de petites et moyennes dimensions, avec des enclos enserrant 1 à 2 ha, couvrent l'ensemble du plateau. Ces fermes et zones d'activités, distantes d'environ un kilomètre les une des autres, voire moins, ainsi que les indices d'un milieu ouvert et d'une campagne fortement aménagée, témoignent d'une exploitation accrue des ressources agricoles (Desrayaud, 2014).

Au sein de ces *villae*, la répartition classique entre *pars urbana* et *pars rustica* est bien repérée à la fouille, les bâtiments en dur ou sur poteaux plantés sont aisément perçus, mais les fonctions de ces bâtiments restent largement à déterminer. Ici, comme ailleurs dans les autres secteurs d'Île-de-France, riches en vestiges fouillés, ce sont surtout les études archéobotaniques et archéozoologiques qui sont très avancées et restituent bien les productions agricoles (Lepetz & Matterné, 2017). Sur maints sites, l'identification fonctionnelle des bâtiments agricoles reste à faire.

Dans une démarche pluridisciplinaire novatrice motivée par la disponibilité de spécialistes, des études paléoenvironnementales ont été engagées sur deux bâtiments antiques sur le site de l'ancien hippodrome de Ris-Orangis (Essonne). De nombreux prélèvements de sol ont été effectués dans les vestiges d'une grange¹, et dans ceux d'un bâtiment rectangulaire simple, sans sol conservé, mais présentant d'emblée certaines des caractéristiques d'une bergerie traditionnelle. Cet article présente la méthodologie multidisciplinaire mise en œuvre qui permet de prouver la nature ovine des animaux logés dans le bâtiment rectangulaire.

Nous présentons d'abord l'ensemble du site, puis focalisons nos études archéologique, zootechnique, pédologique et biologique sur une potentielle bergerie.

¹ Ce bâtiment n'est pas le sujet de cet article.

LÉGENDE

Structure protohistorique

Période Auguste / Claude

- Phase 1
- Fin 1^{er} s. av. J.-C. - Début 1^{er} s. ap. J.-C.
 - Première moitié du 1^{er} s.
 - Avant le milieu du 1^{er} s.

Fin du 1^{er} s. - première moitié du III^e s.

- Phase 2
- Fin 1^{er} s. - début II^e s.
 - Deuxième moitié du II^e s.
 - Première moitié du III^e s.

- Phase 3
- Milieu du III^e s. - Première moitié du IV^e s.

haut Moyen Âge

Médiéval ou Moderne

Moderne ou Contemporain



1. Le site antique²

L'occupation antique commence à l'époque d'Auguste avec la mise en place d'un enclos de forme trapézoïdale scindé en deux parties. L'enclos fait au moins 1,2 ha, avec une partie occidentale de 5 510 m² et orientale de plus de 7 100 m². Au cours de la première moitié du I^{er} siècle, l'enclos primitif fait l'objet d'une réfection, avant d'être rapidement abandonné au profit d'un enclos plus grand, couvrant au minimum 1,5 ha. La mise en place de ces nouvelles limites voit l'aménagement d'un ponceau dans la section septentrionale de l'enclos. Les premières structures bâties sont associées à un très faible nombre de structures. Quelques murs de clôture sont implantés. Une mare est active dans la partie sud-est de la *pars rustica*.

À la fin du I^{er} siècle, début du II^e siècle, l'occupation s'intensifie. À l'intérieur de l'enclos, l'espace s'organise en deux unités, à l'est, la *pars rustica*, à l'ouest, la *pars urbana*, avec respectivement 1,1 ha au moins et 8 645 m² (**fig. 2**). Elles sont desservies par un chemin dans l'axe du ponceau et sont partiellement séparées par un mur de clôture. Dans la *pars rustica*, une imposante grange avec quatre piliers porteurs et une bergerie (UA 2) sont construites sur les flancs nord et sud de l'enclos. La *pars urbana* voit l'élévation d'un espace résidentiel à galerie, constitué de trois corps de bâtiments, nord, ouest et sud, disposés en « U », organisés autour d'une cour centrale. Dans l'aile nord, deux pièces, dont une avec un soupirail, ont fait l'objet d'une construction soignée en mortier hydraulique avec bourrelet d'étanchéité. L'une d'elle témoigne du passage de l'eau perceptible par des concrétions de calcite conservées sur les parois des murs enduits. L'habitat résidentiel semble soigné avec la présence de peinture murale. Le fossé d'enclos est entretenu, voire recreusé.

Une structure maçonnée quadrangulaire, de type latrines, est installée dans l'espace résidentiel. L'accès à l'eau à l'intérieur de l'enceinte est assuré par un puits.

Vers la seconde moitié du II^e siècle, le ponceau sur l'enclos est définitivement abandonné. Les fossés d'enclos semblent partiellement comblés, mais matérialisent toujours une limite autour de l'établissement par la construction d'une clôture par exemple. À l'emplacement du ponceau, un porche charretier en matériaux périssables, sans doute en terre et bois, est construit. Le mur de clôture initial est remplacé par un second, avec l'aménagement d'une entrée, dont les deux maçonneries latérales soutiennent l'assise d'un porche. L'aile nord de l'ensemble résidentiel est agrandie avec la construction d'une grande pièce, qui au vu des fondations, devait comporter un étage.

Pendant la première moitié du III^e siècle, le porche charretier en bois est remplacé par un pavillon d'entrée en dur avec l'introduction massive du mortier de chaux, afin de pallier aux problèmes de stabilité rencontrés par le premier porche.

La seconde moitié du III^e siècle marque le début de l'abandon de l'établissement. Dans l'aile septentrionale, les deux pièces enduites de mortier de tuileau, de l'habitat sont abandonnées.

Les murs de la grange, ainsi que ceux de l'aile ouest de la partie résidentielle, sont largement récupérés. Une partie du mur de clôture est démantelée. Des fosses de rejets de matériaux sont installées et les dépressions naturelles sont comblées de ces rejets.

² Par Alexandra Mondoloni.



Figure 2. Plan de situation des bâtiments résidentiels et agricoles de la pars urbana et de la pars rustica au sein de l'établissement. © DAO I. Pasquier, Inrap.

2. Le bâtiment UA 2³

Le bâtiment UA 2 se situe dans la *pars rustica*, au sud, à proximité d'une mare, située au sud-est. Il fait face à la grange, implantée au nord (**fig. 2**). Ces deux bâtiments agricoles sont disposés de part et d'autre d'une grande cour dédiée aux activités agropastorales.

Le bâtiment UA 2 a fait l'objet de deux états de construction. Le premier vers le milieu du I^{er} siècle ap. J.-C., et le second de la fin du I^{er} siècle au début du II^e siècle après J.-C.

³ Par Jean-Yves Dufour et Alexandra Mondoloni.

2.1. Description

2.1.1. Le 1^{er} état

Dans son premier état, le bâtiment présente un plan quadrangulaire et trois murs (1253 à l'ouest, 1061 au sud, et 1302 au nord). Le mur ouest mesure 9 m et se raccorde au sud au mur 1061. Ce dernier est conservé sur 10 m, il est détruit à l'est par une canalisation liée à l'existence de l'hippodrome. La totalité du plan est mal conservée, mais les éléments encore présents suggèrent une surface interne d'au moins 90 m².

Le mur nord, 1302, se prolonge plus à l'ouest, servant sans doute de clôture (**fig. 3**).

Les fondations sont très faiblement conservées sur une voire deux assises, ne dépassant pas la quinzaine de centimètres. Elles sont constituées de pierres et de plaquettes de meulières, parfois associées à des moellons calcaires et à de rares grès. Dans la tranchée du mur 1302, un *dupondius* d'Octave a été mis au jour.

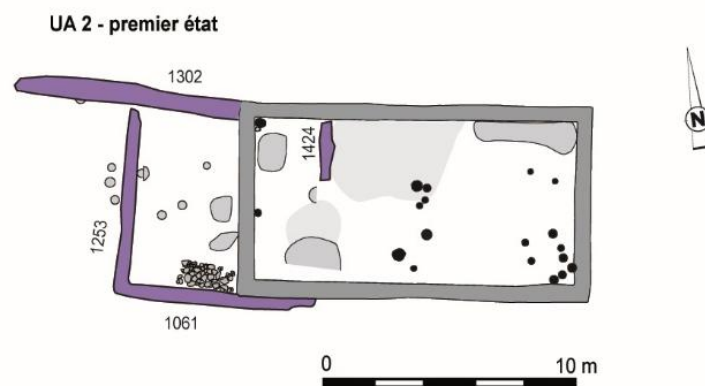


Figure 3. UA 2 : 1^{er} état, avant milieu du 1^{er} siècle. © Inrap

2.1.2. Le deuxième état

Le bâtiment subit des modifications dès la fin du I^{er} siècle. Il semble que l'état primitif soit abandonné au profit d'une nouvelle construction avec un emplacement décalé vers l'est (**fig. 4**). Le nouveau bâtiment dessine un plan rectangulaire de 130 m² d'espace interne, orienté est-ouest (**fig. 5**). Il est constitué de quatre murs chaînés entre eux : 1055/1062 (mur gouttereau nord long de 17,60 m), 1056 (pignon oriental long de 10 m), 1308/1319 (mur gouttereau sud long de 17,60 m) et 1063 (pignon occidental long de 10 m). Leur construction est faite en tranchée perdue d'une largeur comprise entre 0,70 m et 0,80 m. La semelle de fondation est constituée d'une assise de blocs de grès, et/ou de meulières, surmontée par deux à quatre assises de pierres, moellons et plaquettes de meulières liés par un sable argileux brun gris (**fig. 5**). L'espace interne est divisé en deux pièces. La pièce occidentale, la plus petite, a une superficie de 26 m², tandis que l'espace oriental couvre 100 m². Le mur de refend 1424, large d'une soixantaine de centimètres, est seulement conservé par un alignement nord-sud de quelques pierres de meulières sur une longueur 2,50 m. Ce lambeau de mur peut également correspondre à un reliquat de la construction antérieure. Une importante canalisation du XX^e s. a bouleversé le mur sud du bâtiment sur 2 m linéaires. À l'est de cette perturbation, la photographie aérienne du bâtiment (**fig. 5, vue zénithale**) montre une tranchée de récupération sans pierres sur environ 3,3 m de longueur. Cette différence dans le traitement des fondations traduit-elle un accès sur le côté sud, et donc une exposition plein sud ?

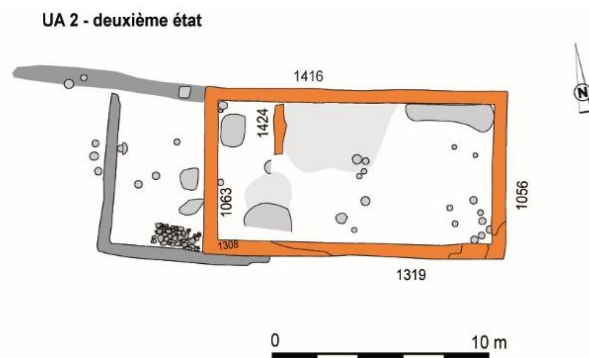


Figure 4. UA 2 : 2^e état, fin du I^{er} siècle, début du II^e siècle. © Inrap

L'intérieur du bâtiment est marqué par un reliquat (0,3 cm d'épaisseur) de sol induré (US 1060) d'environ 6 m². Contre la paroi nord, au centre du bâtiment, une zone de 25 m² est recouverte de deux remblais limoneux gris brun successifs (US 1334 et 1064). Tel que conservé, décapé et observé, le sol du bâtiment montre un léger pendage depuis la paroi nord (altitude 79,8 m NGF), vers la paroi sud (altitude 79,5 m NGF). Au centre-sud du bâtiment, trois poteaux (1303, 1304 et 1331) ont une disposition inconnue en l'état. Trois trous de poteau (1335, 1416 et 1412) sont également positionnés le long de la paroi nord. Un quatrième (1874) est implanté au milieu de la paroi occidentale.

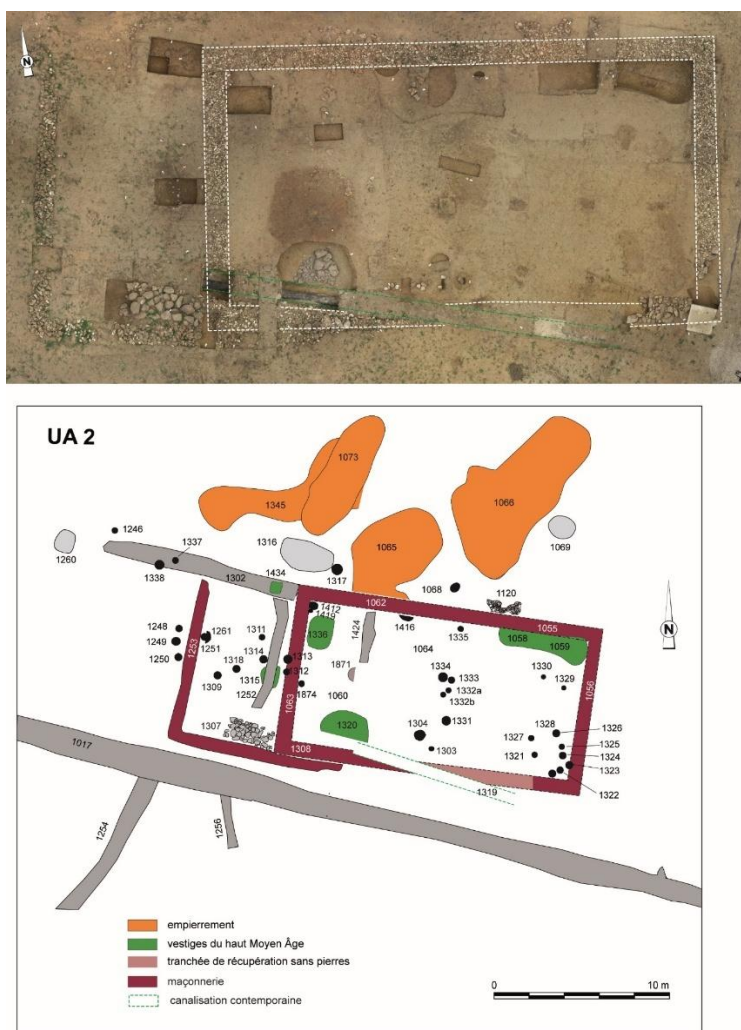


Figure 5. Vue zénithale et plan détaillé de la bergerie © Photo R. Touquet, DAO I. Pasquier, Inrap

Des aménagements extérieurs ont également été découverts au nord du bâtiment sur environ 270 m² (**fig. 6**). Ils se composent d'un empierrement de pierres de meulières, de rares autres pierres en grès et calcaire centimétriques et décimétriques, dont certaines sont posées à plat. Ces empierrements pourraient correspondre au reliquat de préparation d'une cour ou pour un espace aménagé pour le bétail. Entre ces empierrements, deux vastes cuvettes⁴ de plus de 20 m² chacune sont comblées de limon gris (1066), ou de nombreuses tuiles et mortier très altérés dans une matrice de limon gris (1065). Le sol du bâtiment UA 2, ainsi que les pourtours du bâtiment, ont fait l'objet par Kaï Fechner de prélèvements d'échantillons de sol tous les mètres, sur une surface de 240 m².



Figure 6. Vue sur l'aménagement extérieur partiellement dégagé. © Inrap

2.2. Cartographie du phosphore sur le bâtiment UA2 ⁵

2.2.1. Contexte pédologique

Le terrain (**fig. 7**) sous le bâtiment UA2 est formé d'un luvisol (Jahn *et al.* 2006 ; Micheli & Spaargaren, 2006) développé sur des limons éoliens pléistocènes. D'après les sondages géologiques réalisés à proximité de notre zone de travail (BSSOOORNPK-02197X0143/VLG004 et BSSOOORNNM-02197X0121/F1 ; Mégnién & Berger, 1989), la puissance de ces limons semble peu importante. Les formations tertiaires rupéliennes (stampien inférieur : marnes et argiles) sont atteintes entre 1,5 m et 4 m de profondeur. À bien des endroits, la pédogenèse tardiglaciaire/holocène a par conséquent traversé toute l'épaisseur du dépôt limoneux (Haesaerts *et al.*, 2016). Les zones présentant des transitions lithologiques devront être par conséquent étudiées avec une attention particulière, car une partie de phosphore issu des premiers stades d'évolution du sol actuel pourrait s'être accumulée dans ces zones de changements texturaux et brouiller le signal du phosphore archéologique.

⁴ Faits 1065 et 1066.

⁵ Par Frédéric Broes.

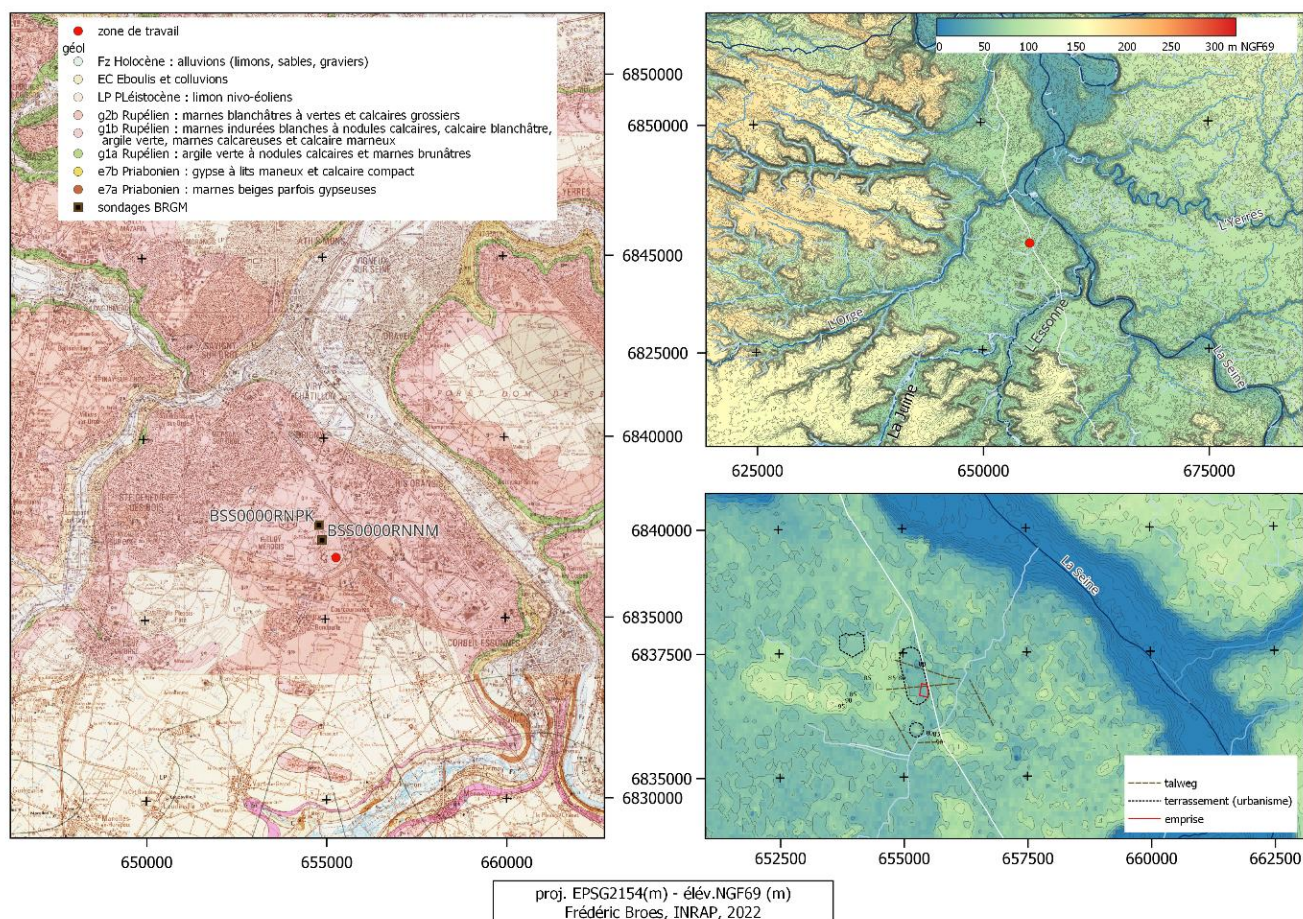


Figure 7. Contexte géologique de la zone de travail. © Frédéric Broes, Inrap, 2022 d'après BRGM 2018, IGN 2018 et SRTM3 2015).

La présence d'argiles à faible profondeur peut également conduire à la formation de nappes perchées pouvant localement induire un caractère hydromorphe de la pédoséquence. Or, en milieu non stabilisé par des carbonates, le phosphore peut être mobilisé en milieu gorgé d'eau et être déplacé verticalement ou latéralement dans la pédoséquence selon le relief ou la texture du sédiment (Harr 1977 ; Makowski *et al.*, 2020 ; Rinderer *et al.*, 2021).

Notons également que le terrain étudié est traversé par une série de talwegs rejoignant, le Ru de l'Écoute s'il Pleut, un tributaire de la Seine coulant au sud. Ces talwegs sont très peu marqués dans le paysage, car la cour a connu un nivellement important lors de l'aménagement du champ de courses. Ils sont néanmoins perceptibles à l'ouest et à l'est du site. Le pendage local devait approcher de 1,5 %, ce qui est faible, mais la longueur de pente est importante avec près de 1,5 km. En cas de mise à nu des terrains, c'est-à-dire s'il y a eu destruction de la couverture végétale stabilisant le haut de la pédoséquence par les activités humaines (agriculture, circulation), l'érosion doit être prise en compte.

2.2.2. Méthode

Les taux de phosphore estimés par la réalisation de tests selon la méthode d'Eidt (Eidt, 1984). Les résultats sont présentés sous l'indicatif Ptests. Si l'on observe des enrichissements cohérents corrélables aux vestiges archéologiques à l'issue de cette phase, nous proposons alors la mesure précise de la concentration en phosphore d'un ensemble d'échantillons choisis selon la méthode de Mikkelsen (Mikkelsen, 1997).

Le positionnement précis des échantillons est assuré par des profils de référence (description et topographie) et par la codification des couleurs (Munsell Color, 2009) de l'ensemble des prélèvements testés. Ces dernières, qui dépendent des teneurs en matière organique (MO), en oxyhydroxydes de fer/manganèse et en argile, permettent de positionner précisément nos prélèvements dans notre pédoséquence de référence (Sugita & Marumo, 1996).

Ce positionnement est primordial, car la capacité d'un sédiment à fixer le phosphore anthropique est liée à son pH, à sa capacité d'échange cationique (CEC) ou encore sa teneur en MO. Certains horizons pédologiques (B21td, B23t), certaines zones de transitions texturales ou encore certains contextes pédologiques sont ainsi difficilement interprétables et doivent être identifiés afin de pouvoir exploiter les résultats d'analyse (Broes *et al.*, 2017).

Si les données issues des Ptests sont parfaitement corrélables aux données topographiques ou aux couleursMunsell, nous considérons que la cartographie du phosphore n'est que le reflet des caractéristiques pédologiques de la surface de prélèvement et les données seront considérées comme inexploitable pour une interprétation archéologique.

2.2.3. Résultats de la cartographie du phosphore sur le bâtiment UA2

La maille du carroyage d'échantillonnage est d'un mètre. Cette maille est suffisante pour permettre de déterminer l'environnement fonctionnel d'un bâtiment de cette taille et de mettre en évidence, le cas échéant, des partitions fonctionnelles au sein de cet aménagement architectural (Broes *et al.*, 2012).

2.2.3.1. Validité des données

Les données (**fig. 8**) recueillies à l'issue de la phase de Ptests recueillies sont cohérentes. Il n'y a pas de succession aberrante d'échantillons présentant des accumulations très variables de phosphore. Cela signifie que les accumulations mesurées ne sont vraisemblablement pas dépendantes de processus pédologiques, mais bien d'enrichissements liés aux activités humaines.

Les données sont également corrélables aux vestiges archéologiques et peu dépendantes, pour la surface étudiée, aux cartographies des données topographiques et colorimétriques (**fig. 8**). Elles sont donc bien liées à des activités anthropiques en lien avec le bâtiment UA2.

Les mesures de la concentration en phosphore des échantillons sont par conséquent interprétables d'un point de vue archéologique.

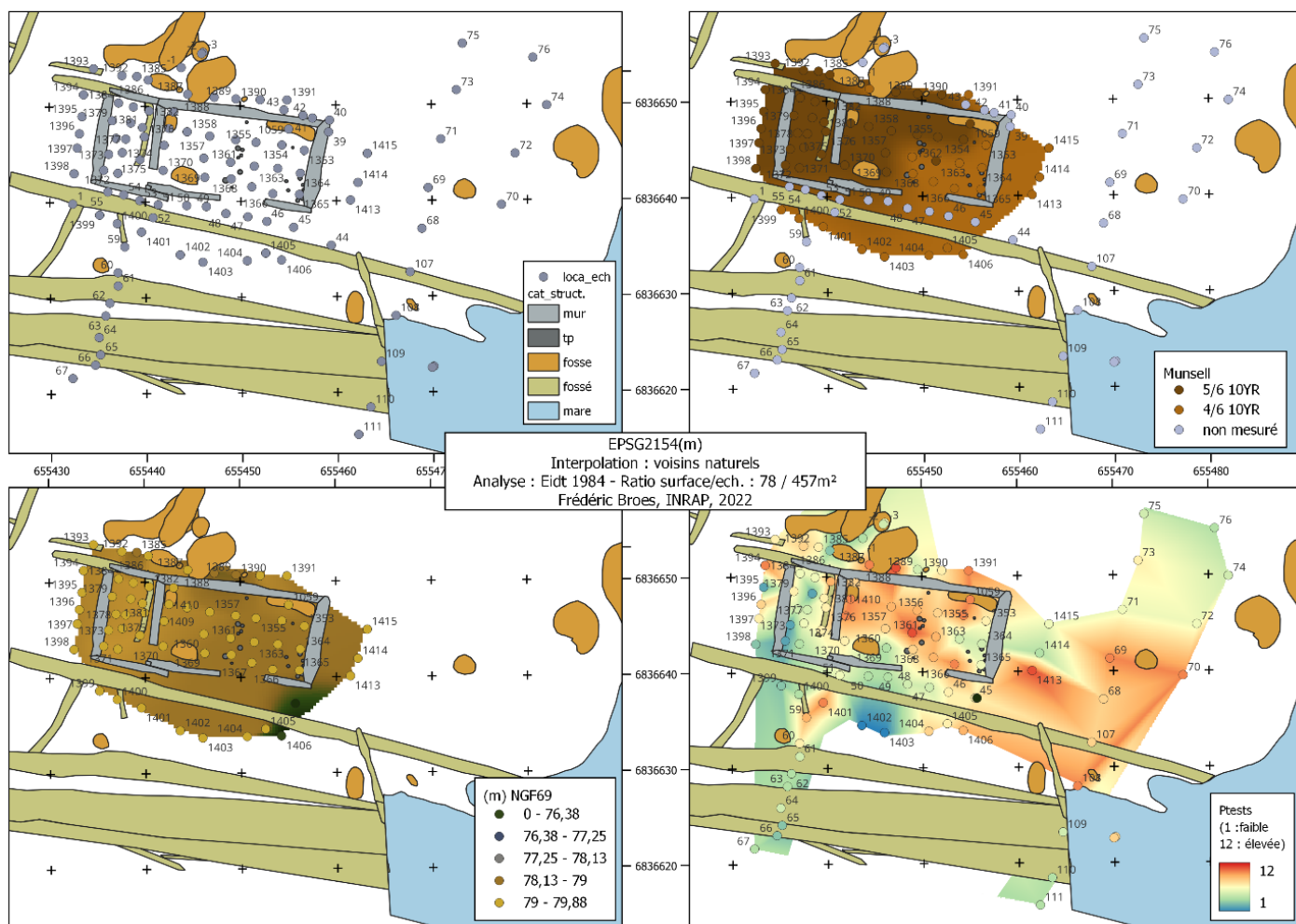


Figure 8. Données pédologiques, colorimétriques et topographiques recueillies sur la zone du bâtiment UA2 de Ris-Orangis. © Frédéric Broes, Inrap, 2022.

2.2.3.2. Interprétation

On observe que seul l'aménagement construit dans un second temps est enrichi en phosphore (**fig. 9**). La partie initiale du bâtiment (le tiers ouest) n'est que peu ou pas différenciable des taux observés, au même niveau dans la pédoséquence de référence située dans la berme au sud du bâtiment, à l'extérieur de la zone délimitée par le système de fossés. Le bâtiment initial n'a par conséquent pas servi à accueillir une activité ayant généré des rejets importants de matière organique.

Le bâtiment principal montre des taux importants de phosphore. Considérant que seule la base des fondations est préservée, nous pouvons estimer que près de 40 cm de séquence sont manquants (A1, E, sommet Bt) avant d'atteindre la base de l'horizon de surface. La pédoséquence de référence ayant montré que la surface de prélèvement était entièrement inscrite dans un horizon B22t, la réponse importante des tests n'est pas incohérente avec une hypothèse de stabulation.

L'enrichissement en phosphore du substrat se poursuit également en direction de la grande dépression anthropique. La base de la séquence de colmatage de cette dépression montre des traits pédologiques associés à une mise en eau de la structure, comme des litages et un classement partiel du sédiment. Il pourrait s'agir d'un abreuvoir. Cette hypothèse est soutenue par la présence de formations argileuses sous la séquence limoneuse.

Notons cependant que lors de la visite de terrain, aucuns traits liés à du piétinement n'a pu être observé sur les bords de cette dépression. Mais le caractère subhorizontal du relief local actuel est artificiel et dû à l'aménagement du champ de courses, qui a modifié la topographie originelle en arasant une partie de la pédoséquence. Le paléovallon passant à proximité peut avoir causé une érosion susceptible d'avoir détruit l'enregistrement archéologique du bord de la dépression. Ces deux facteurs pourraient expliquer l'absence de piétinement en bordure de la dépression.

Il semble par conséquent que l'on puisse proposer une hypothèse de relation entre l'aménagement architectural et cet aménagement excavé.

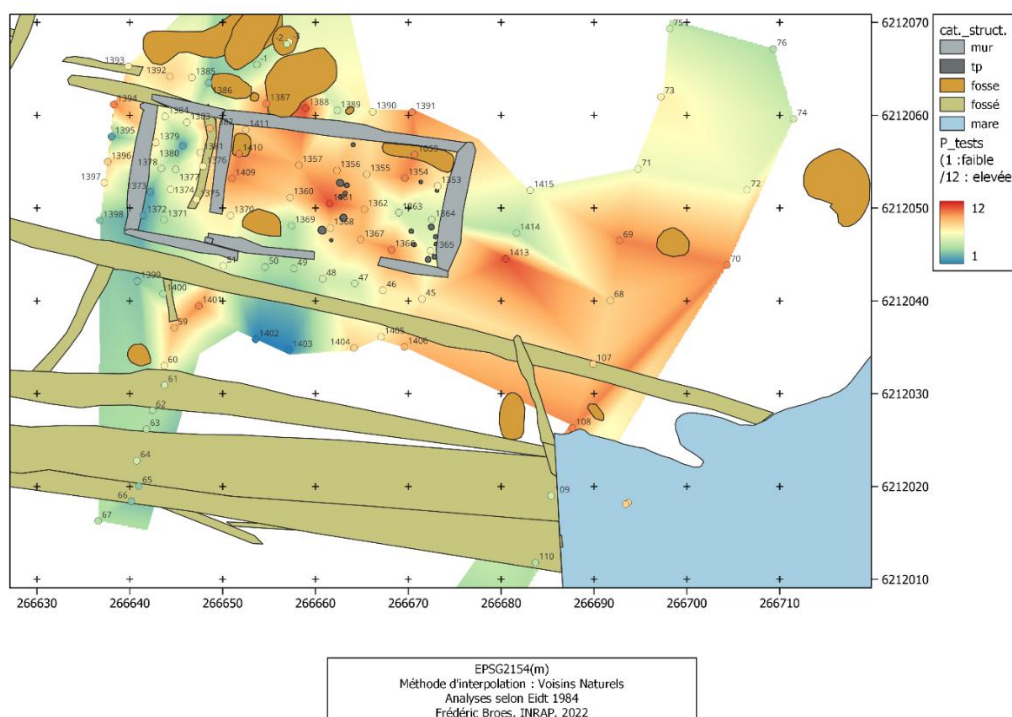


Figure 9. Ris-Orangis (Essonne), site du « l'ancien hippodrome d'Évry » ; cartographie des phosphores dans et autour de l'UA 2. © Frédéric Broes, Inrap, 2022.

La zone d'épandage de pierre en grès sur le flanc nord de l'aménagement architectural présente aussi de fortes concentrations en phosphore ; mais celles-ci sont difficilement interprétables, car les prélèvements situés dans cette zone sont bien plus humifères. Il est difficile sans analyses chiffrées de corréler les données de cette zone avec les données issues du reste de la zone étudiée. On peut néanmoins supposer que ces enrichissements sont liés au bâtiment, car les taux des prélèvements réalisés à proximité du mur nord sont sensiblement plus élevés que sur le reste de la zone de travail.

La teneur en phosphore des échantillons diminue fortement au sud du système de fossés. Il semble donc, que ces fossés marquent une limite structurante synchrone avec la période d'utilisation du bâtiment UA2.

La craie formant la semelle de fondation pour les assises en grès a également été testée, car les formations crayeuses peuvent être phosphatées. Les mesures ont établi que le cœur des granules de craie utilisées est très pauvre en phosphore. Les accumulations sont limitées au pourtour des granules, ce qui est lié à la capacité des granules de craies à fixer les phosphores de la solution du sol. Les accumulations de phosphore identifiées dans le bâtiment ne sont donc pas dues aux matériaux de construction utilisés.

2.2.4. Conclusion sur la cartographie du phosphore

Les résultats des tests de phosphore confirment la présence d'enrichissements anthropiques associés au deuxième état de construction de l'aménagement architectural. Ces enrichissements sont importants et sont en accord avec une hypothèse de stabulation.

Ces enrichissements sont également observables entre le bâtiment et une dépression anthropique (abreuvoir ?) située au sud-est de notre zone de travail.

Les prélèvements concernant la première phase de construction ne montrent toutefois pas d'enrichissements anthropiques importants. Si cette partie du bâtiment était encore utilisée concomitamment de la partie reconstruite, elle ne semble pas avoir accueilli d'activité induisant un rejet massif de matière organique. Les taux observés, proches du bruit de fond naturel, sont ici en contradiction avec une hypothèse de stabulation.

2.3. Essai d'interprétation fonctionnelle ⁶

Les mesures de phosphore révèlent des taux élevés à très élevés, surtout dans les deux tiers nord du bâtiment. Ces enrichissements importants confortent l'hypothèse d'un bâtiment destiné à la stabulation animale. Mieux, la cartographie de ces analyses (**fig. 9**) peut expliquer la fonction des poteaux 1303, 1304 et 1331, creusements jusqu'alors incompris. Au nord-ouest de ces poteaux, les forts taux de phosphore témoignent d'un piétinement renforcé sur quelques mètres carrés. L'espace de 1,7 m (entre-axe) entre les poteaux 1304 et 1331 est également riche en phosphore, tandis que la concentration de cet élément est plus que faible immédiatement au nord-est et au sud-ouest de l'axe formé par ces deux poteaux. Un passage entre ces poteaux ou pieux, sans doute renforcé de claies, explique cette répartition du phosphore dans le sol. Immédiatement à l'est de cette barrière interne au bâtiment, une surface rectangulaire de 7 × 2,5 m, comprise entre les trous de poteau et piquets 1321 à 1331, présente *a contrario* une teneur moyenne moindre en phosphores. Cette zone bien circonscrite, moins piétinée, signale peut-être un râtelier. Le prolongement de la zone enrichie en phosphore au sud-est du passage peut traduire l'emplacement de l'ancienne porte d'accès au bâtiment, porte positionnée dans le tiers est du mur gouttereau sud, là où une tranchée de récupération différente permettait déjà de l'envisager. À l'extérieur du bâtiment, la zone enrichie en phosphore s'étend en direction du sud-est vers la mare, point d'eau indispensable à tout élevage de gros bétail. L'étude pédologique conclut justement à l'existence d'une relation fonctionnelle entre le bâtiment et cet aménagement excavé.

2.3.1. Quelle espèce animale pouvait être logée dans ce bâtiment ?

Une étude, en cours sur les manuels d'agronomie anciens⁷, donne des indications sur la construction traditionnelle des bâtiments agricoles. 80 sources agronomiques nous ont livré 167 mentions descriptives des principaux logements à bestiaux dans une large moitié nord de la France. Les sources agronomiques nous apprennent à reconnaître et différencier les bâtiments d'élevage et/ou de stabulation à partir de critères simples : leur exposition, la nature des sols, la largeur interne, la solidité de l'édifice et la largeur des portes (Dufour, 2012, 2023). L'exposition plein sud du bâtiment UA 2 de Ris-Orangis, est importante pour les ovins, appréciée des bovins, sans intérêt pour les chevaux et plus faiblement citée (7 mentions) pour les porcs. Le principal critère de distinction d'une bergerie par rapport aux autres logements à bestiaux, est celui de l'exposition (26 mentions). La bergerie doit être tournée au midi (17) ou au levant (9). Columelle (Livre VII, III) nous explique le choix de cette

⁶ Par Jean-Yves Dufour

⁷ Les manuels datent principalement des XVI^e au XIX^e s., mais les quelques traités antiques sont également utilisés.

exposition plein sud : « *On les exposera au midi, parce que ce bétail, quoique le plus vêtu de tous les animaux, est cependant celui qui s'habitue le moins au froid, ainsi qu'aux chaleurs de l'été* » (Cunisset-Carnot, 1890 : 176). Le sujet de la « chaleur » des bergeries est très controversé et débattu parmi les agronomes, mais la majorité des auteurs s'en tient à cette exposition.

Trois autres critères principaux distinguent bien la bergerie des autres logis animaux. Le sol de la bergerie est préférentiellement en terre battue et sans rigole pour l'écoulement des urines, alors que les autres bestiaux nécessitent tous des sols en dur et systèmes pour l'écoulement des urines. L'absence de toute trace de sol en dur, même relictuelle, dans le bâtiment UA 2 est donc également un argument en faveur d'un sol de bergerie. Ce sol est malgré tout en légère pente, comme doivent l'être tous les sols des bâtiments destinés aux animaux. La largeur interne d'un bâtiment de stabulation diffère selon l'espèce logée. La mesure relevée de 8,3 m dans-œuvre, est proche des mesures nécessaires pour une étable double (13 mesures pour une moyenne de 8 m), c'est-à-dire pour une étable dans laquelle les bovins sont parqués sur deux rangs. La mesure de 8,3 m est supérieure à celle de 7,2 m, recommandée pour les bergeries doubles. Parce qu'il n'est pas attaché en rang dans son logement, mais laissé en troupeau libre, le mouton dispose d'un logis (bâtiment) généralement plus large que celui calculé au plus juste, par individus, pour les autres animaux. Quoi qu'il en soit, la cartographie des du phosphore suggère un bâtiment utilisé sur une largeur maximale de 5 m, mesure qui correspond plus à la largeur d'un logis simple pour chevaux (moyenne de 19 mesures relevées dans les manuels d'agronomie = 4,73 m), que celle nécessaire pour une bergerie simple : 4,12 m (5 mesures). Mais l'absence de sol en dur et d'évacuation des urines ne permet pas à Ris-Orangis, de développer une interprétation du bâtiment UA 2 comme écurie.

La dimension des portes est aussi très caractéristique dans les logements à bétail. L'étude comparative des largeurs de portes dans les différents logements à bétail, nous apprend que le bétail le plus petit, les ovins, nécessite les ouvertures les plus larges ! L'espace de 1,7 m mesuré entre les poteaux 1304 et 1331, et enrichi en phosphore, est parfaitement dans la norme de ce qui convient aux moutons (14 mesures relevées dans les manuels agronomiques, pour une largeur moyenne de 1,75 m). Les autres bestiaux n'ont pas besoin de portes aussi larges.

En complément de l'analyse pédochimique du sol, la largeur de la porte intérieure, l'exposition du bâtiment et la nature de son sol sont des bons arguments pour interpréter le bâtiment UA 2 comme une bergerie antique. Parmi la faible quantité d'objets métalliques collectés sur le site, deux objets sont reliés à une activité agropastorale antique⁸. Une sonnaile est issue du radier (US 2354) de la grange antique (UA 1), bâtiment daté pour partie de la même époque que l'UA 2.

L'étude des restes fauniques⁹ comptabilise 499 restes pour la période antique. Cet ensemble est dominé par les restes de caprinés (NR = 125). Ceux-ci sont moins bien préservés parmi les vestiges phasés du Haut-Empire, que parmi ceux du Bas-Empire, qui montrent un élevage sur site. Le bâtiment interprété comme une bergerie perdure jusqu'au milieu du III^e s. Au Bas-Empire, un individu périnatal atteste d'une reproduction sur le site. Une fonction d'élevage du bâtiment explique sans doute les divisions internes annoncées par la présence de poteaux en bordure des murs. Dans un élevage pratiquant la reproduction, il est effectivement nécessaire de séparer les femelles portantes, et si possible le reste du troupeau par classe d'âge. En tenant compte de la répartition interne du phosphore, nous pouvons estimer la surface de stabulation à 67 m², soit la place pour une soixantaine de moutons. Cette hypothèse interprétative du bâtiment UA 2, bien que basée sur une comparaison de morphologie et de fonctionnement avec des bâtiments agricoles modernes, est à Ris-Orangis renforcée par une

⁸ Détermination Luc Leconte, Inrap.

⁹ Étude de Céline Le Goff, Inrap.

étude pédochimique, ainsi que les résultats de l'étude des ossements animaux. Ce bâtiment est morphologiquement et fonctionnellement très proche de celui fouillé à Houdan ([Brutus, 2015](#)). Il est daté de la même période. Des niveaux de cours sont perçus sur les deux sites au nord du bâtiment interprété comme une bergerie. Ces bâtiments sont nécessaires dans toute exploitation agricole de la moitié nord de la France.

Une étude chimique des biomarqueurs lipidiques fécaux a été réalisée pour confirmer nos hypothèses.

3. Analyse des biomarqueurs lipidiques, fécaux de l'UA 2¹⁰

3.1. Introduction

Le monde du vivant, ou l'ayant été, est constitué de biomolécules constituant ce qui est communément appelé la matière organique. Dans ce continuum de composés organiques, la famille de lipides présente un intérêt particulier pour les études de reconstructions paléo-environnementales et archéologiques, car leur hydrophobicité relative leur confère une certaine stabilité dans le temps, comparées à d'autres familles de biomolécules plus hydrophiles telles que les acides aminés ou les sucres. En plus d'une résistance relative à la dégradation pédologique (activité microbienne, oxydation, etc.), certains composés lipidiques peuvent être spécifiques à des espèces animales ou végétales et/ou des processus biotiques ou abiotiques. Ces deux critères sont les principaux facteurs qui peuvent permettre d'utiliser des lipides comme biomarqueurs, autrement dit comme outils moléculaires de traçage de source ou de processus.

Parmi la multitude de biomarqueurs utilisés dans des environnements présents ou passés, l'analyse de stéroïdes fécaux dans des sols de sites archéologiques a permis à plusieurs reprises de reconstruire l'occupation de sites par les hommes ou leurs animaux d'élevage en identifiant des apports de matières fécales et en distinguant leurs sources ([Knight *et al.*, 1983](#) ; [Bull *et al.*, 1999](#) ; [Hjulstrom & Isaksson, 2009](#)). À l'origine des stéroïdes fécaux, les stérols (dont les plus connus sont le cholestérol et le sitostérol) sont des molécules constituant notamment les membranes cellulaires des organismes vivants où ils jouent divers rôles physiologiques primordiaux. De manière générale, chez les animaux, c'est le cholestérol qui remplit très largement ce rôle comparé aux autres stérols. La source principale de cholestérol chez les animaux provient de l'alimentation : une alimentation carnée sera riche en cholestérol alors qu'une alimentation plutôt végétarienne sera riche en stérols végétaux, ou phytostérols. Une partie du cholestérol, et des phytostérols dans une moindre mesure, est absorbée par l'organisme et l'excédent est évacué dans les fèces. Avant d'être excrété, une partie du surplus de stérols est transformée par la flore bactérienne intestinale et composés métabolites : les stanols, et plus particulièrement les 5 β -stanols. La quantité et la composition de ces 5 β -stanols dépend donc majoritairement de l'organisme considéré, de son régime alimentaire et de son microbiote. Par exemple, un humain avec une alimentation carnée, donc riche en cholestérol, devrait excréter plus de 5 β -stanols dérivés du cholestérol qu'un herbivore. Et vice versa pour les phytostérols et leur 5 β -stanols associés. Ainsi, les fèces issues de régimes alimentaires contrastés (carnivore et herbivore) contiennent des proportions en 5 β -stanols dérivés du cholestérol (coprostanol, épicooprostanol ; tableau 1) du sitostérol (24-éthylcoprostanol, 24-éthylépicooprostanol) et d'autres phytostérols relativement distincts ([Leeming *et al.*, 1996](#)). Sur cette base, des rapports de concentration entre ces différents biomarqueurs ont été proposés et utilisés pour tracer la présence de matières fécales, leur

¹⁰ Par Alice Cao et Loïc Harrault.

préservation, déterminer le régime alimentaire principal (carnivore et herbivore) des espèces sources et parfois les identifier (Leeming *et al.*, 1997 ; Prost *et al.*, 2017).

Plus récemment, l'identification de nouveaux 5β-stanols et l'utilisation d'outils statistiques multivariés (analyse en composantes principales, classification hiérarchique, etc.) a permis une meilleure identification des espèces sources de matières fécales dans différents domaines (Derrien *et al.*, 2011, 2012 ; Harrault *et al.*, 2014, 2019 ; Jardé *et al.*, 2018 ; Davies *et al.*, 2022 ; Sulas *et al.*, 2022). Le principe est d'identifier une signature fécale d'échantillons à partir de leur composition en 5β-stanols de sol (ou d'autres matériaux) et de la comparer avec une base de données d'empreintes fécales de référence déterminées à partir de la composition en 5β-stanols de fèces d'animaux choisis en rapport avec le site étudié. La pertinence d'une telle approche repose en grande partie sur le choix des références, qui doivent avoir un lien avec le contexte étudié.

L'identification des espèces animales de sites archéologiques par la détermination de leur empreinte chimique fécale a surtout été développée et utilisée au Royaume-Uni et en Allemagne. Malgré le potentiel de cette méthode et sa complémentarité avec des approches archéologiques plus classiques (palynologie, zooarchéologie, micromorphologie, etc.), elle n'a encore jamais, ou très peu, été appliquée en archéologie française.

NOMENCLATURE			SPECTROMÉTRIE DE MASSE			
Stérols	Stanols dérivés connus (nom officiel)	Sous famille	Fragment m/z (TMS)			Calibration
			M ⁺	Identification	Quantification	Standard (m/z)
Cholestérol (Cholest-5-en-3β-ol)	Coprostanol (5β-Cholestan-3β-ol)	5β-Stanol	460	257, 355, 370	370	Coprostanol (370)
	Epicoprostanol (5β-Cholestan-3α-ol)	5β-Stanol	460	257, 355, 370	370	Epicoprostanol (370)
	Cholestanol (5α-Cholestan-3β-ol)	5α-Stanol				
	Epicholestanol (5α-Cholestan-3α-ol)	5α-Stanol				
Sitostérol (24-Ethyl-cholest-5-en-3β-ol)	24-Ethylcoprostanol (24-Ethyl-5β-cholestan-3β-ol)	5β-Stanol	488	257, 383, 398	398	24-Ethylcoprostanol (398)
	24-Ethylepicoprostanol (24-Ethyl-5β-cholestan-3α-ol)	5β-Stanol	488	215, 257, 283, 398	398	24-Ethylepicoprostanol (398)
	Sitostanol (24-Ethyl-5α-cholestan-3β-ol)	5α-Stanol	488	383, 398, 473	215	Sitostanol (215)
Campestérol (24-Methyl-cholest-5-en-3β-ol)	5β-Campestanol (24-Methyl-5β-cholestan-3β-ol)	5β-Stanol	474	215, 257, 369, 384	384	Coprostanol (384)
	5β-Epicampestanol (24-Methyl-5β-cholestan-3α-ol)	5β-Stanol	474	215, 257, 369, 384	384	Epicoprostanol (370)
	Campestanol (24-Methyl-5α-cholestan-3β-ol)	5α-Stanol				
	5α-Epicampestanol (24-Methyl-5α-cholestan-3α-ol)	5α-Stanol				
Brassicatérol (24-Methyl-cholesta-5,22E-dien-3β-ol)	5β-Brassicastanol (24-Methyl-5β-cholest-22E-en-3β-ol)	5β-Stanol	472	215, 257, 382	382	Coprostanol (370)
	5β-Epibrassicastanol (24-Methyl-5β-cholest-22E-en-3α-ol)	5β-Stanol	472	215, 257, 382	382	Epicoprostanol (370)
Lichestérol (24-Methyl-cholesta-5,8,22E-trien-3β-ol)	5β-Lichestanol (24-Methyl-5β-cholesta-8(9),22E-dien-3β-ol)	5β-Stanol	470	213, 229, 255, 343	380	Coprostanol (370)
	5β-Epilichestanol (24-Methyl-5β-cholesta-8(9),22E-dien-3α-ol)	5β-Stanol	470	213, 229, 255, 343	380	Epicoprostanol (370)
Stigmastérol (24-Ethyl-cholesta-5,22E-dien-3β-ol)	5β-Stigmastanol (24-Ethyl-5β-cholesta-22E-en-3β-ol)	5β-Stanol	486	257, 353, 486	215	24-Ethylcoprostanol (215)
	5β-Epistigmastanol (24-Ethyl-5β-cholesta-22E-en-3α-ol)	5β-Stanol	486	257, 486	215	24-Ethylepicoprostanol (215)
	Stigmastanol (24-Ethyl-5α-cholesta-22E-dien-3β-ol)	5α-Stanol	486	215, 383	215	Sitostanol (215)

Figure 10. Nomenclature et données de spectroscopie de masse des principaux stérols et stanols associés. Les noms entre parenthèses sont ceux donnés par l'International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). Seuls les 5β-stanols (surlignés en gris) sont quantifiés et pris en compte pour la détermination des signatures fécales des échantillons de fèces et de sols. © Loïc Harrault

3.2. Matériel et méthodes

Des échantillons de sol/sédiments de l'UA2 (fig. 8 et 11) et des échantillons de fèces d'animaux d'une ferme de Longjumeau (Essonne) ont été analysés pour déterminer leur teneur et leur composition en biomarqueurs lipidiques fécaux (5β-stanols) et identifier leurs principales sources animales (Prost *et al.*, 2017 ; Harrault *et al.*, 2019).

Le protocole d'extraction et d'analyse des 5β-stanols dans les échantillons de sol/sédiments et de fèces suit celui développé par Harrault *et al.* (2019). En résumé, les lipides des échantillons ont été extraits avec des solvants organiques, puis la fraction contenant les stanols fécaux a été isolée par chromatographie sur colonne et les onze 5β-stanols d'intérêts ont été analysés par chromatographie gazeuse couplée à un spectromètre de masse (voir Harrault *et al.*, 2019 ; Davies *et al.*, 2022 ; Sulas *et*

al., 2022). La signature fécale de chaque échantillon de sol a été calculée par rapport à sa composition en lipides fécaux, et les signatures des échantillons de l'UA2 ont été comparées à celles des empreintes fécales de fèces d'animaux qui ont servi de référence.

Le rapport de composés $R = (24\text{-Ethylcoprostanol} + 24\text{-Ethylepicoprostanol}) / (24\text{-Ethylcoprostanol} + 24\text{-Ethylepicoprostanol} + \text{Sitostanol})$ a été utilisé comme un indicateur d'apports de matières fécales d'origine exogènes dans des milieux dominés par des espèces herbivores tout en prenant en compte une éventuelle dégradation du signal d'origine (ici le composé 24-Ethylcoprostanol ; Prost *et al.*, 2017).

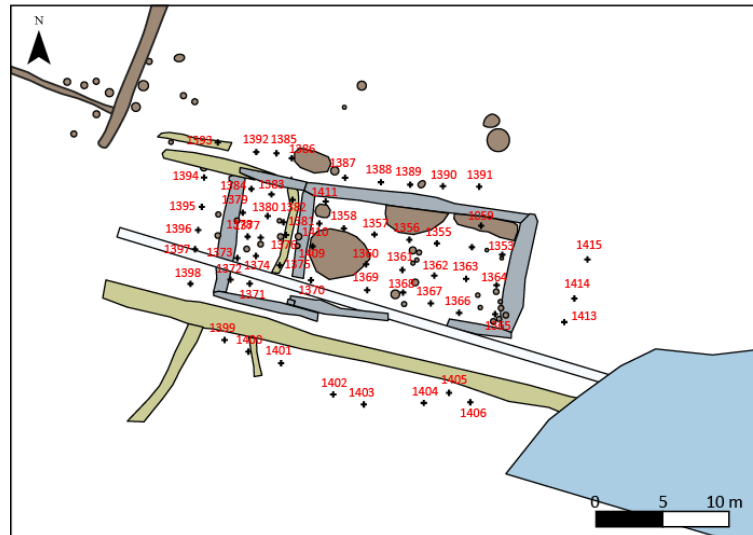


Figure 11. Localisation des échantillons de l'UA2 prélevés et analysés pour leur teneur et leur composition en 5β-stanols. © Inrap

3.3. Résultats

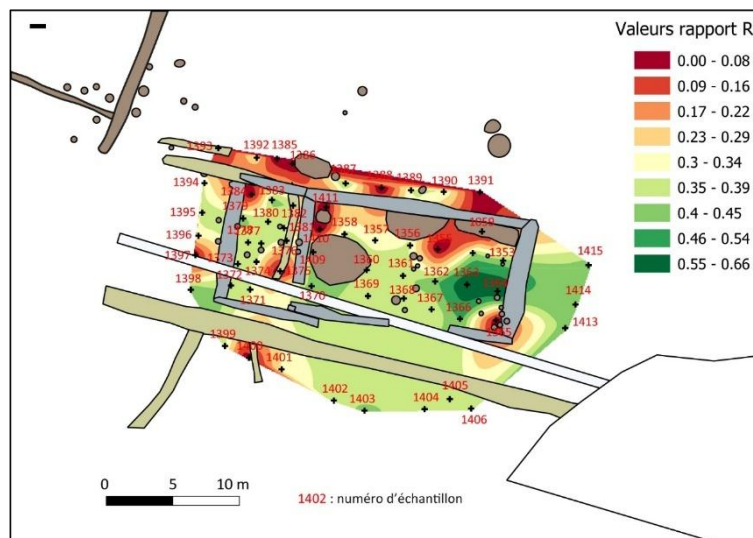


Figure 12. Interpolation des valeurs du rapport $R = 24\text{-Ethylcoprostanol} / (24\text{-Ethylcoprostanol} + \text{Sitostanol})$ dans les échantillons de sols de l'UA2. © Loïc Harrault

La *figure 11* montre que les échantillons situés au nord du mur nord de l'UA2 ont des valeurs de rapport R inférieures à 0,3, tout comme les échantillons situés dans les angles nord-ouest et sud-est

des états 1 et 2 de l'UA2. D'après Prost *et al.* (2017), des valeurs de R inférieures à 0,3 indiqueraient une absence de contamination fécale par des animaux, des valeurs entre 0,3 et 0,7 un possible apport de matières fécales, et des valeurs supérieures à 0,7 des apports certains de matières fécales. Selon ces valeurs seuils, les précédents échantillons auraient été pas ou peu soumis à des apports de matières fécales animales. Les échantillons situés au centre des deux états et ceux situés à l'est et au sud de l'UA présentent des valeurs de R supérieures à 0,3, avec des valeurs maximales à l'est dans l'état 2. Ces valeurs pourraient être indicatives d'apports significatifs en matières fécales animales dont la répartition au sein des états de l'UA2 est hétérogène et pourrait renseigner sur l'occupation spatiale de ces bâtiments.

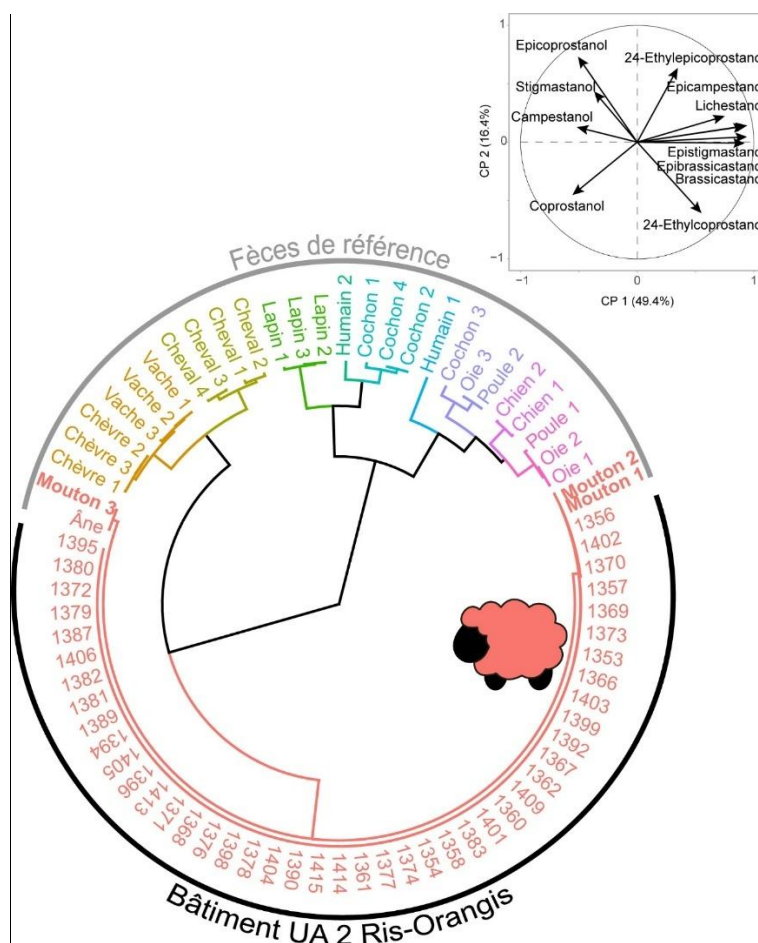


Figure 13. Cercle de corrélation des deux premières composantes de l'analyse en composantes principales (ACP) des signatures fécales des échantillons de fèces de référence montrant les corrélations entre stanols fécaux. Arbre de classification (ACCP) construit à partir de l'ACP des signatures et empreintes fécales des échantillons de sol de l'UA2 (chiffres) et de fèces (nom d'animal + chiffre).

© Loïc Harrault

L'arbre de classification des « empreintes stanol » des fèces animales de références (**fig. 13**) permet de distinguer deux branches principales : dans la première sont classées et séparées les empreintes de chevaux, des vaches, de chèvres et de moutons (ainsi que celle d'un âne), dans la seconde sont réparties de façon moins distincte les empreintes de lapins, de cochons, d'humains, de chiens, de poules et d'oies. Les signatures fécales des échantillons de sol de l'UA2 sont toutes localisées dans la sous-branche correspondant à l'empreinte des fèces de moutons. À noter que les échantillons de sols dont les concentrations en 5β -stanols étaient sous le seuil de quantification et dont la diversité de composé était trop faible (1363 et 1364) pour une comparaison acceptable ont été retirés de l'analyse

statistique. Ces résultats indiqueraient que les apports de matières fécales dans l'UA2 suggérés par les résultats du rapport R proviendraient en majorité de moutons.

La concentration en 5β -stanols des échantillons du bâtiment UA 2 et des fèces de référence peuvent être consultées dans le Matériel supplémentaire ainsi que leurs valeurs du rapport R.

Conclusion

Fouille raisonnée, lecture agronomique du bâtiment, cartographie du phosphore et analyse des biomarqueurs lipidiques concourent à la bonne interprétation du bâtiment UA 2 du site de l'ancien hippodrome d'Évry ; les vestiges d'un bâtiment sans attrait, une simple construction rectangulaire, dépourvue de tout sol construit, comme il s'en fouille chaque année des dizaines, se révèlent à l'étude être les vestiges d'une bergerie datée de la fin du I^{er} siècle au début du II^e siècle après J.-C.

La reconnaissance des bâtiments de stabulation par cartographie du phosphore n'est pas nouvelle, elle est régulièrement mise en œuvre depuis 25 ans dans la moitié nord de la France (Broes *et al.*, 2012). Faite sans réflexion préalable, elle peut toutefois amener à une absence de résultat. Une simple lecture agronomique ou zootechnique des vestiges, faite dès le décapage du site, permet de bien sélectionner les bâtiments à étudier, en posant les bonnes questions aux spécialistes. Elle sous-entend une connaissance du fonctionnement technique des bâtiments agricoles (Dufour, 2012 ; Rouppert & Dufour, 2017).

Régionalement déjà mise en œuvre avec succès sur le site antique de la « Chapelle Saint-Nicolas » à Saint-Brice-sous-Forêt (Val-d'Oise ; Rouppert *et al.*, 2011), la méthodologie d'approche est relativement simple. À Ris-Orangis, l'interprétation finale est emportée par l'étude des biomarqueurs lipidiques, analyse encore trop rarement mise en œuvre sur les sites français. Cette analyse confirme l'hypothèse zootechnique de départ, qui reconnaissait certains des critères de construction et de fonctionnement d'une bergerie, dans les vestiges du bâtiment UA 2. De fait, la bergerie est le bâtiment le plus simple parmi ceux dédiés aux gros bestiaux de la ferme, et donc le plus facile à repérer et questionner.

La surprise provient du fait que les 44 prélèvements, soumis à l'analyse lipidique, révèlent uniquement des empreintes stanol des fèces issues de moutons ; cette signature fécale globale suggère une occupation exclusivement par des moutons. Il semble donc que nous soyons en présence d'un élevage raisonné où l'on ne mélangeait pas les espèces sous un même toit.

Outre une bergerie, une grange repérée dans la partie nord de la *pars rustica*, est l'un des outils indispensables de l'économie céréalière du site. Un bâtiment de stabulation pour les grands animaux (chevaux ou bœufs) tractant la charrue est le complément nécessaire de la grange et de la bergerie.

Sur les épais sols loessiques d'Île-de-France et du Sud de la Picardie, les études carpologiques ont en effet mis en évidence à partir de la fin de l'âge du Fer et durant la période gallo-romaine le développement de la culture des blés nus ainsi qu'une bonne représentation des moutons dans les spectres fauniques (Lepetz & Matterné, 2003 ; Zech-Matterné *et al.*, 2017 : 46 ; Reddé, 2022 : 107). Dans une économie agraire du Bassin parisien, amorçant dès le début de la période gallo-romaine une spécialisation dans la culture des blés panifiables, l'élevage ovin permettait notamment de fumer les terres à emblaver par la technique du parage (Lepetz & Matterné, 2003, 2017 ; Bernigaud, 2019) et de pâturer les chaumes et les jachères (Lefevre, 1834 : 507). Il est donc probable que la plupart des établissements ruraux des grandes plaines du nord de la Gaule disposaient de bergeries qu'il est

désormais possible d'identifier grâce aux croisements des analyses mises en œuvre sur la fouille de Ris-Orangis.

Remerciements

Ce travail a bénéficié de l'EUR PSL-CGS (thème 4 BIOTÉCA) et a été soutenu par une aide de l'état au titre du programme d'investissements d'avenir portant la référence ANR-11-IDEX-0004-17-EURE-0006, géré par l'Agence nationale de la Recherche (stage d'Alice Cao), ainsi que par le Leverhulme Trust (grant RPG- 2019-258, Royaume-Uni), intégré au projet Cohabiting with Vikings (Durham University, chef de projet : Prof. Karen Milek, financement du post doc de Loïc Harrault).

Conflit d'intérêts

Les auteurs ne rapportent aucun conflit d'intérêts.

Évaluation

Les rapporteurs de cet article sont Nicolas Bernigaud et Christophe Petit.

Responsabilités des évaluateur·rice·s externes

Les évaluations des examinateur·rices externes sont prises en considération de façon sérieuse par les éditeur·rices et les auteur·rices dans la préparation des manuscrits pour publication. Toutefois, être nommé comme examinateur·rice n'indique pas nécessairement l'approbation de ce manuscrit. Les éditeur·rices d'Archéologie, Société et Environnement assument la responsabilité entière de l'acceptation finale et la publication d'un article.

Références bibliographiques

- Bernigaud, N., 2019. L'élevage des caprinés en France, aperçus archéo(zoo)logiques et historiques, in : Gourichon L., Daujeard, C., Brugal, J.-Ph. (dir.), *Hommes et caprinés : de la montagne à la steppe, de la chasse à l'élevage*. APDCA (Actes des XXXIX^e Rencontres Internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes), Antibes, 339-352.
- Bernigaud, N., Berga, A., Blanchard, J., Blin, O., Boulén, M., 2017. L'Île-de-France, in : Reddé, M., *Gallia Rustica 1. Les campagnes du nord-est de la Gaule, de la fin de l'âge du Fer à l'Antiquité tardive*. Ausonius éditions (Mémoire, 49), Pessac, 179-210.
- Broes, F., Clavel, V., De Clercq, W., Fechner, K., Rouppert, V., Vanmoerkerke, J., 2012. À la recherche des espaces de stabulation. Étude pluridisciplinaire d'habitats du Néolithique au Moyen Âge dans le nord de la France. *Archéologies. Archéologie et société*, 35, 6-16. URL : <https://doi.org/10.4000/archeologies.257>
- Broes, F., Fechner, K., Clavel, V., 2017. Unités architecturales interprétées à l'aide des sciences du sol dans le Nord de la France : résultats et tendances pour l'époque romaine. In : Trément, F. (dir.), *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 agropastorale. Actes du XI^e colloque de l'Association d'étude du monde rural gallo-romain*. Fédération Aquitania (Supplément 38), Bordeaux, 824.
- Broes, F., Fechner, K., Clavel, V., 2018. Cartographie systématique du phosphore dans les habitats néolithiques et protohistoriques. Intérêt et résultats, in : *Habitations et habitat du Néolithique à l'âge du Bronze en France et ses marges. Actes des II^e Rencontres Nord-Sud de Préhistoire récente, Dijon, 19-21 novembre 2015*. Archives d'Écologie Préhistorique, Toulouse, 575-596.
- Brutus, F. (dir.), 2015. *Houdan, Route de Champagne, lots A et B. Occupations du Paléolithique moyen, bâtiments agricoles gallo-romains et implantations du haut Moyen Âge en fond de vallée de l'Opton*. Rapport de fouille, Inrap Centre-Ile-de-France, 2 vol., 394 et 231 p.
- Bull, I. D., Simpson, I. A., Dockrill, S. J., Evershed, R. P., 1999. Organic geochemical evidence for the origin of ancient anthropogenic soil deposits at Tofts Ness, Sanday, Orkney. *Organic Geochemistry*, 30 (7), 535-556. URL : [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(99\)00020-0](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(99)00020-0)

- Columelle, 2002 [1864]. *De l'agriculture*, Nisard, M. (trad.). Éditions Errance, Paris.
- Cunisset-Carnot, P., 1890. *Le livre d'agriculture. Lectures agricoles. Excursions. Expériences. Rédactions, problèmes et dictées sur l'agriculture données aux examens du certificat d'études*, 4^e édition. Larousse, Paris.
- Davies, A. L., Harrault, L., Milek, K., McClymont, E. L., Dallimer, M., Hamilton, A., Warburton, J., 2022. A multiproxy approach to long-term herbivore grazing dynamics in peatlands based on pollen, coprophilous fungi and faecal biomarkers. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 598, 111032. URL: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2022.111032>
- Derrien, M., Jarde, E., Gruau, G., Pierson-Wickmann, A.-C., 2011. Extreme variability of steroid profiles in cow feces and pig slurries at the regional scale: implications for the use of steroids to specify fecal pollution sources in waters. *Journal of agricultural and food chemistry*, 59 (13), 294–302. URL : <https://doi.org/10.1021/jf201040v>
- Derrien, M., Jardé, E., Gruau, G., Pourcher, A. M., Gourmelon, M., Jadas-Hécart, A., Pierson Wickmann, A. C., 2012. Origin of fecal contamination in waters from contrasted areas: stanols as Microbial Source Tracking markers. *Water research*, 46 (13), 4009-4016. URL : <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.05.003>
- Desrayaud, G., *Romanisation and Rural Reorganization on the Sénart Plateau*. 2014. fffhal01101513f
- Dufour, J.-Y., 2012. Étables à bovins, écuries, bergeries, porcheries. Manuels agronomiques et vestiges médiévaux et modernes en Île-de-France. *Archéopages*, 35, 60-66. URL: <https://doi.org/10.4000/archeopages.305>
- Dufour, J.-Y., 2023. *L'apport des manuels d'agronomie à la reconnaissance par les archéologues des techniques agricoles des périodes historiques*, Thèse de doctorat, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Inrap, ArScan, deux volumes, 932 p. et 433 fig.
- Eidt, R. C. 1984. *Advances in Abandoned Settlement Analysis : Application to Prehistoric Anthrosols in Colombia, South America*. University of Wisconsin-Milwaukee, Milwaukee.
- Fermières, A., Gandini, C., Nouvel, P., Collard, J.-L., 2010. Les grandes villae « à pavillons multiples alignés » dans les provinces des Gaules et des Germanies : répartition, origine et fonction. *Revue archéologique de l'Est*, 59, 357- 446. URL : <http://journals.openedition.org/rae/6217>
- Haesaerts, P., Damblon, F., Gerasimenko, N., Spagna, P., Pirson, P. 2016. The Late Pleistocene loess-palaeosol sequence of Middle Belgium. *Quaternary International*, 411 (A), 25-43. URL: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.02.012>
- Harr, R. D., 1977. Water flux in soil and subsoil on a steep forested slope. *Journal of Hydrology*, 33 (1-2), 37-58. URL: [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(77\)90097-X](https://doi.org/10.1016/0022-1694(77)90097-X)
- Harrault, L., Milek, K., Jardé, E., Jeanneau, L., Derrien, M., Anderson, D. G., 2019. Faecal biomarkers can distinguish specific mammalian species in modern and past environments. *PLoS ONE*, 14 (2), e0211119. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211119>
- Hjulström, B., Isaksson, S., 2009. Identification of activity area signatures in a reconstructed Iron Age house by combining element and lipid analyses of sediments. *Journal of Archaeological Science*, 36 (1), 174-183. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2008.08.005>
- Jahn, R., Blume, H. P., Asio, V. B., Spaargaren, O., Schas, P., 2006. *Guidelines for soil description, 4th edition*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. URL : <https://www.fao.org/4/a0541e/a0541e.pdf>
- Jardé, E., Jeanneau, L., Harrault, L., Quenot, E., Solecki, O., Petitjean, P., Lozach, S., Chev  , J., Gourmelon, M., 2018. Application of a microbial source tracking based on bacterial and chemical markers in headwater and coastal catchments. *Science of The Total Environment*, 610-611, 55-63. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.235>
- Knights, B. A., Dickson, C. A., Dickson, J. H., Breeze, D. J., 1983. Evidence concerning the roman military diet at Bearsden, Scotland, in the 2nd Century AD. *Journal of Archaeological Science*, 10 (2), 139-152. URL: [https://doi.org/10.1016/0305-4403\(83\)90048-1](https://doi.org/10.1016/0305-4403(83)90048-1)
- Leeming, R., Ball, A., Ashbolt, N., Nichols, P., 1996. Using faecal sterols from humans and animals to distinguish faecal pollution in receiving waters. *Water Research*, 30 (12), 2893-2900. URL : [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(96\)00011-5](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(96)00011-5)

- Leeming, R., Latham, V., Rayner, M., Nichols, P., 1997. Detecting and Distinguishing Sources of Sewage Pollution in Australian Inland and Coastal Waters and Sediments. In: Eganhouse, R. P. (dir.), *Molecular Markers in Environmental Geochemistry*. American Chemical Society, Washinton, DC, 306-319. URL: <https://doi.org/10.1021/bk-1997-0671.ch020>
- Lefèvre, E., 1834. Du mouton. In : Bailly de Merlieux, Ch., Bixio J.-A., Malpeyre, F. (dir.), *Maison rustique du XIX^e siècle*, vol. 2. Au Bureau, Paris, 501-511.
- Lepetz, S., Matterné, V. (dir.), 2003. *Cultivateurs, éleveurs et artisans dans les campagnes de Gaule romaine. Matières premières et produits transformés*, Actes du VI^e colloque AGER tenu à Compiègne du 5 au 7 juin 2002, Revue Archéologique de Picardie 1/2 (2003), Amiens, 369 p.
- Lepetz, S., Matterné, V. (dir.), 2017. *Productions agropastorales, pratiques culturelles et élevage dans le nord de la Gaule du deuxième siècle avant J.-C. à la fin de la période romaine*. Éditions Mergoïl (Archéologie des plantes et des animaux, 5), Dremil-Lafage.
- Makowski, V., Julich, S., Feger, K.-H., Julich, D., 2020. Soil Phosphorus Translocation via Preferential Flow Pathways: A Comparison of Two Sites With Different Phosphorus Stocks. *Frontiers in Forests and Global Change*, 3 (48). URL: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.00048>
- Mégnyen, Cl., Berger, G., 1989. *Notice de la Carte Géologique à 1/50 000. Corbeil, Essonne*. Carte 2019., Bureau de recherches géologiques et minières, Orléans.
- Michéli, E., Spaargaren, O., 2006. *World Reference Base for Soil Resources (WRB)*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome (World Soil Resources Reports, 103).
- Mikkelsen, J. H., 1997. Laboratory method for determination of organic, inorganic and total phosphate. *Micromorphology and phosphate*, 3.
- Munsell Color, 2009. *Munsell Soil-Color Charts Field Book*. Mansell Color, Michigan.
- Ouzoulias, P., Van Ossel, P., 2009. Petites et grandes exploitations agricoles de la Plaine de France. In : *Les formes l'habitat rural gallo-romain, terminologies et typologies à l'épreuve des réalités archéologiques. Colloque international AGER VIII (Toulouse, 22-24 mars 2007)*. Aquitania (Supplément, 17), Bordeaux, 111-121.
- Prost, K., Birk, J. J., Lehdorff, E., Gerlach, R., Amelung, W., 2017. Steroid biomarkers revisited. Improved source identification of faecal remains in archaeological soil material. *PLoS ONE* 12 (1), 4275. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0164882>
- Reddé, M., 2022. Gallia Comata. *La Gaule du Nord. De l'indépendance à l'Empire romain*. Presses universitaires de Rennes, Rennes.
- Rouppert, V., DuFour, J.-Y., Fechner, K., 2011. An example of a fruitful discussion between a pedologist and an archaeologist. A 1st-4th Century AD agricultural enclosure with a stable and a manure pit at "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 Enclosures and Fields*. BAR Publishing (International Series, 2222), Oxford, 133-142.
- Rouppert, V., Dufour, J.-Y., 2017. Identifier le logement des animaux de ferme à l'époque romaine : l'apport d'un référentiel architectural et agronomique. In : Trément, F. (dir.), *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 agropastorale. Actes du XI^e colloque de l'Association d'étude du monde rural gallo-romain*. Fédération Aquitania (Supplément 38), Bordeaux, 525-548.
- Sugita, R., Yoshiteru, M., 1996. Validity of color examination for forensic soil identification. *Forensic Science International*, 83 (3), 201-210. URL : [https://doi.org/10.1016/S0379-0738\(96\)02038-5](https://doi.org/10.1016/S0379-0738(96)02038-5)
- Sulas, F., Bagge, M. S., Enevold, R., Harrault, L., Kristiansen, S. M., Ljungberg, T., Milek, K. B., Mikkelsen, P. H., Jensen, P. M., Orfanou, V., Out, W. A., Portillo, M., Sindbæk, S. M., 2022. Revealing the invisible dead: integrated bio-geoarchaeological profiling exposes human and animal remains in a seemingly "empty" Viking-Age burial. *Journal of Archaeological Science*, 141, 105589. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2022.105589>

- Trément, F., 2017. *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 agropastorale. Actes du XI^e colloque de l'Association d'étude du monde rural gallo-romain*. Fédération Aquitania (Supplément 38), Bordeaux.
- Zech-Matterne, V., Bonnaire, E., Daoulas, G., Derreumaux, M., Durand, F., Rousselet, O., Schaal, C., Toulemonde, F., Wiethold, J., 2017. Diversité et évolution des productions céréalières et fruitières dans le quart nord-est de la France d'après les données carpologiques (II^e s. av. J.-C.-V^e s. ap. J.-C.). In : Lepetz, S., Matterne, V. (dir.), *Productions agropastorales, pratiques culturelles et élevage dans le nord de la Gaule du deuxième siècle avant J.-C. à la fin de la période romaine*. Éditions Mergoïl (Archéologie des plantes et des animaux, 5), Dremil-Lafage, 43-62.