

Les axes viaires et les thermokarsts comme témoins des évolutions pédo- et morphosédimentaires en Champagne crayeuse : l'exemple du site de Faux-Fresnay « Le Haut des Taupinières » (Marne, France)

The roads and thermokarsts as evidence of soil and morphosedimentary changes in chalky Champagne: the example of the Faux-Fresnay site “Le Haut des Taupinières” (Marne, France)

Adrien Gonnet¹, Vincent Riquier²

¹ Inrap Grand Est, centre archéologique de Châlons-en-Champagne, UMR 6266 IDEES adrien.gonnet@inrap.fr

² Inrap Grand Est, centre archéologique de Châlons-en-Champagne, UMR 8215 Trajectoires vincent.riquier@inrap.fr

RÉSUMÉ. Si l'approche géoarchéologique d'un site se concentre habituellement sur les zones de stockage sédimentaire telles que des vallons secs ou les structures anthropiques en creux pour appréhender les archives du sol, les axes viaires ou les dépressions naturelles de types thermokarstiques peuvent, elles aussi, constituer une source d'information pour le pédologue et le géomorphologue. Ainsi, le site de Faux-Fresnay « Le Haut des Taupinières », fouillé par l'Inrap en 2019 sur une superficie de 10 hectares, offre des perspectives nouvelles pour documenter les grandes phases de pédogenèse et les troncatures des sols, notamment à travers la présence d'un axe viaire médiéval, ayant préservé les horizons de rendosol holocène. Ce rendosol, également conservé à la faveur d'un vallon sec et de dépressions thermokarstiques hérités du Pléistocène, est anthropisé dès l'âge du Bronze puis subit, comme l'ensemble du site, une érosion polyphasée et diachronique. Les produits d'érosion stockés dans les dépressions thermokarstiques subissent régulièrement une reprise de pédogenèse, suggérant une rythmicité du couple érosion/sédimentation et la succession de périodes de stabilité et d'instabilité des sols. Pour caractériser la pédogenèse holocène et les différentes phases d'érosion du site, l'étude géoarchéologique s'appuie donc à la fois sur la réalisation de transects pédostratigraphiques, sur des analyses géochimiques (dosage de la matière organique et des carbonates), mais aussi sur les datations relatives offertes par les structures, fossoyées ou non, préservant ces horizons pédologiques à titre d'archives du sol. Ces structures anthropiques et les datations relatives qu'elles fournissent mettent notamment en lumière une première phase érosive postérieure à l'occupation du Bronze final à Faux-Fresnay, puis une accélération des processus érosifs au cours de la seconde moitié du Subatlantique, en lien avec l'agriculture mécanisée. L'utilisation des axes viaires anciens comme témoin des périodes d'érosion/sédimentation à l'échelle régionale peut également être étendue à d'autres contextes archéologiques, géomorphologiques et pédologiques. Ainsi, une remise en contexte à l'échelle régionale est possible à travers d'autres exemples d'axes viaires plus récents, parfois modernes à contemporain, ayant préservé les sols anciens et qui témoignent d'une morphogenèse colluviale accélérée depuis plus d'un demi-siècle.

ABSTRACT. While the geoarchaeological approach of a settlement usually focuses on sedimentary storage areas such as dry valleys or anthropogenic structures to understand the soil archives, roadways or natural thermokarst-type depressions can also be a source of information for pedologists and geomorphologists. Thus, the Faux-Fresnay site “Le Haut des Taupinières,” excavated by the French National Institute for Preventive Archaeological Researches (INRAP)

in 2019 over an area of 10 hectares, offers new perspectives for documenting the major phases of pedogenesis and soil truncations, particularly through the presence of a medieval road axis that has preserved the Holocene rendosol horizons. This rendosol, also preserved within a dry valley and thermokarst depressions inherited from the Pleistocene, has been occupied by human societies since the Bronze Age and, like the rest of the site, has undergone multiphase and diachronic erosion. The colluvium stored in the thermokarst depressions regularly undergo renewed pedogenesis, suggesting a rhythmicity of erosion/sedimentation processes and a succession of periods of soil stability and instability. To characterize Holocene pedogenesis and to evaluate the different phases of erosion at the site, the geoarchaeological study is based on pedostratigraphic transects, geochemical analyses (measurement of organic matter and carbonates), and relative dating provided by anthropogenic structures, whether excavated or not, preserving these soil horizons as soil archives. Those anthropogenic structures and the relative dating they provide highlight, in particular, an initial phase of erosion following the Late Bronze Age occupation at Faux-Fresnay, followed by an acceleration of erosion processes during the second half of the Subatlantic period, linked to mechanized agriculture. The use of an ancient roadway as evidence of periods of erosion/sedimentation on a regional scale can also be extended to other archaeological, geomorphological, and pedological contexts. Thus, it is possible recontextualize these events at regional scale through other examples of more recent, sometimes modern to contemporary, roadways that have preserved ancient soils and bear witness to accelerated colluvial morphogenesis over more than half a century.

MOTS-CLÉS. Champagne, axes viaires, Rendosols, érosion, dynamiques géomorphologiques, âge du Bronze.

KEYWORDS. Champagne, Roads, Rendosols, Erosion, Geomorphological dynamics, Bronze Age.

Introduction

En Champagne crayeuse, les grandes phases d'érosion des sols sont au cœur des problématiques géoarchéologiques locales, dans la mesure où elles conditionnent la taphonomie des sites archéologiques et des vestiges associés et qu'elles permettent d'appréhender l'action des forçages anthropiques sur les environnements passés (Petit *et al.*, ce volume). La multiplication des opérations liée à l'essor de l'archéologie préventive depuis plus de vingt ans, associée à la mise en œuvre d'interventions géoarchéologiques dans le cadre de ces opérations permet d'affiner les modèles connus concernant les grandes phases d'érosion au cours de l'Holocène (Fechner *et al.*, 2005, 2009 ; Gebhardt *et al.* 2014 ; Gonnet *et al.* 2021). En étudiant plus précisément les dynamiques géomorphologiques mises en œuvre le long des versants, dans des contextes de petits bassins versants, les réponses morphosédimentaires du géosystème apparaissent en effet plus lisibles et peuvent être suivies sur le temps long.

De par sa position topographique, son contexte géomorphologique et pédologique ainsi que son occupation polyphasée, le site de Faux-Fresnay « Le Haut des Taupinières » constitue un site de choix pour alimenter le corpus de données géoarchéologiques et les discussions concernant les grandes évolutions pédo- et morpho-sédimentaires en Champagne crayeuse.

1. Le site de Faux-Fresnay

1.1. Contexte géologique et géomorphologique

L'emprise de la fouille archéologique de Faux-Fresnay « Le Haut des Taupinières » est localisée dans la partie orientale du Bassin parisien, au cœur de la Champagne sèche caractérisée par son *substratum* crayeux du Crétacé supérieur, à moins d'une cinquantaine de kilomètres au sud-ouest de Châlons-en-Champagne.

La Champagne crayeuse correspond à une entité paysagère et géologique constitutive du Bassin parisien, qui s'étend de la vallée de l'Aisne au nord, à celle de la Seine au sud (**figure 1**). Les formations lithologiques qui la caractérisent sont datées du Crétacé supérieur (100 à 66 Ma) et sont

de nature majoritairement crayeuse à l'exception de certains niveaux du Cénomaniens (100 à 93,5 Ma), généralement localisés sur ses marges, au contact de la Champagne humide.

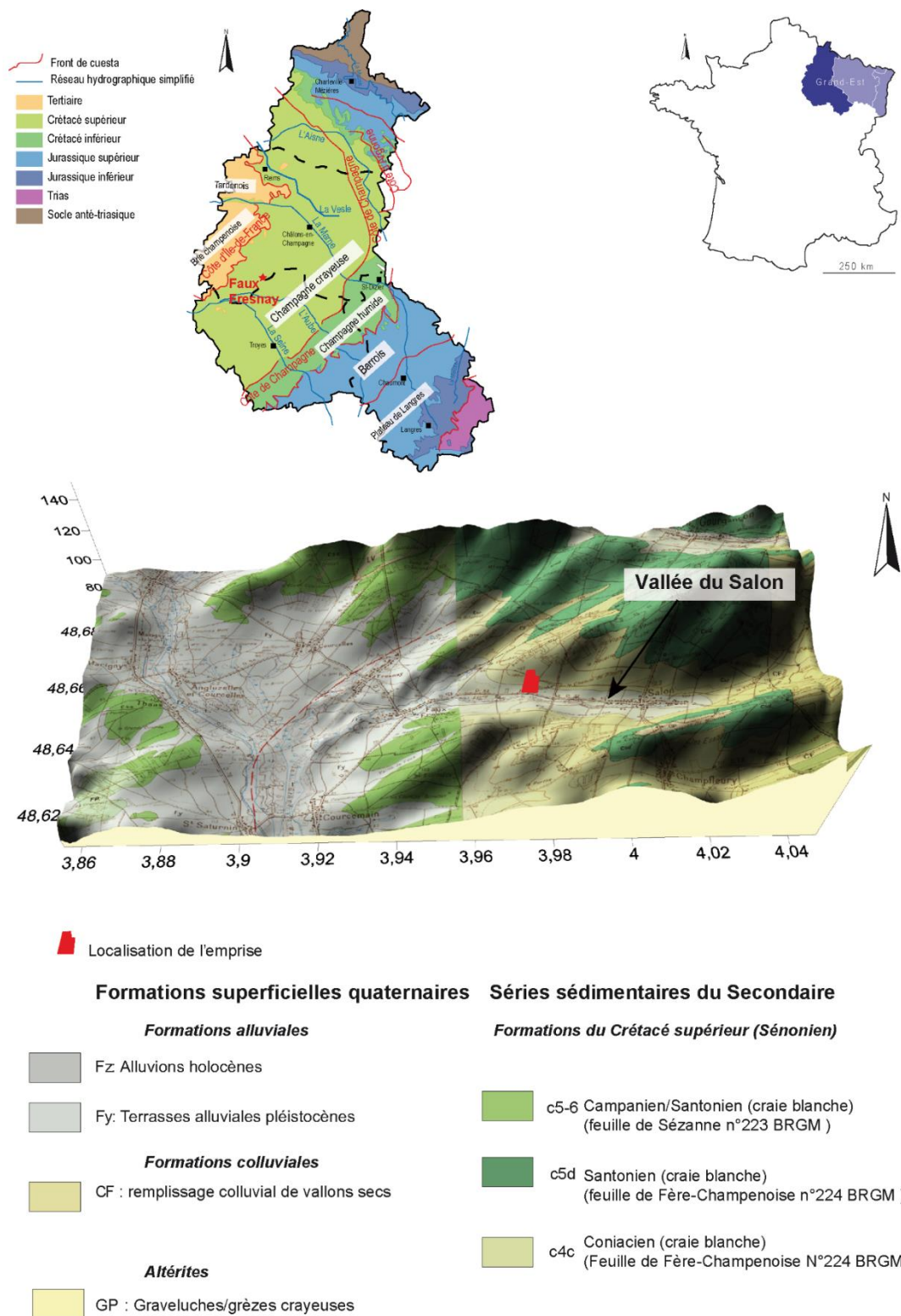


Figure 1. Contexte géologique et géomorphologique de Champagne et du site de Faux-Fresnay (Marne, France) (exagération verticale du MNT 2,5 ; données géologiques BRGM 1 : 50 000).

Le secteur étudié est défini par son relief monotone, de petites collines peu élevées à topographie molle. Toutefois, quelques hydrosystèmes de faible ordination (ordre 1 à 3 selon l'ordination de

Strahler) incisent le *substratum* crayeux, aboutissant à la formation de petites vallées peu encaissées et relativement larges. L'emprise fouillée domine l'une de ces petites vallées où s'écoule le Salon, un petit affluent d'ordre 2 (Strahler, 1957) de l'Aube (**figure 1**). Elle est implantée le long d'un versant présentant une pente globalement douce et régulière vers le sud, de l'ordre de 1 %, seulement perturbée par un petit vallon sec peu profond (tête de vallon), orienté vers l'ouest.

Sur la parcelle fouillée, la craie coniacienne est homogène et la partie supérieure se délite en plaquettes. Les formations superficielles quaternaires mises en évidence dans le secteur sont relativement peu épaisses et s'observent sous différentes formes : les grèzes crayeuses résultant de l'altération physico-chimique et mécanique des dépôts crayeux crétacés se sont développées aux dépens du substrat. À l'échelle régionale, ces formations ont été régulièrement remobilisées sur les pentes au cours du Pléistocène par des mouvements de masse de type solifluxion en contexte périglaciaire (Mathieu & Pomerol, 1976 ; Ballif *et al.*, 1995 ; Laurain *et al.*, 1995 ; Gonnet, 2020). Les vallées sèches de Champagne sont quant à elles colmatées par des colluvions issues de matériaux grèzeux (limons et graviers calcaires) au cours de l'Holocène. À Faux-Fresnay, le contact entre le pied de versant et la plaine alluviale du Salon est marqué par des placages alluvionnaires remaniant les grèzes crayeuses et formant un complexe de basses terrasses, mises en place au cours du Pléniglaciaire weichsélien.

1.2. Contexte pédologique

Le diagnostic archéologique réalisé en 2018, puis l'opération de fouille conduite en 2019 par l'Inrap ont mis au jour une séquence pédologique de type rendosols, séquence commune en Champagne crayeuse (Baize & Girard, 2009 ; Jamagne, 2011). Ces pédocomplexes, anciennement dénommés rendzines (CPCS, 1967 ; Ballif *et al.*, 1995), sont notamment conservés dans des zones de piégeage sédimentaire (dépressions topographiques et vallons secs). Ce type de *solum* présente une succession de deux horizons. L'horizon inférieur est un horizon Cca, correspondant ici à la partie supérieure de la craie et des grèzes crayeuses en cours d'altération, sous l'action de processus biophysico-chimique (dissolution par l'eau chargée en dioxyde de carbone, altération par la microfaune et mésofaune) et mécanique (gélifraction, fragmentation des matériaux). L'horizon supérieur des rendosols correspond à un horizon Aca, assimilé à un horizon A de surface riche en granules calcaires. Généralement peu développé en raison du matériau crayeux parental qu'il surmonte et qui contient peu de matières insolubles, ce type de sol n'excède généralement pas 30 cm d'épaisseur (Jamagne, 2011).

1.3. Contexte archéologique

La fouille du site de Faux-Fresnay par l'Inrap à l'hiver et au printemps 2019 a mis en évidence une occupation polyphasée (Riquier, 2021). Les plus anciennes traces d'occupation mises au jour se caractérisent par une série d'une quinzaine de fosses à profil dit « en Y », régulièrement documentées à l'échelle régionale (Achard-Corompt & Riquier, 2014), et dont certaines ont ici piégé du gibier (cerf et sanglier). Ces fosses sont attribuées au Néolithique et au début de l'âge du Bronze, entre 3700 et 1500 avant notre ère, sur la base des datations radiocarbone et témoignent d'une activité de chasse régulière sur le territoire à cette période (Riquier, 2019).

À la fin de l'âge du Bronze, entre 1250 et 800 av. J.-C., un espace villageois s'organise autour de deux pôles : un pôle d'habitat caractérisé par une quarantaine d'unités architecturales s'implante dans la partie sud de l'emprise de fouille, en pied de versant et à proximité de l'écoulement actuel du Salon et de l'une des sources l'alimentant. Ces unités architecturales reposent sur des trous d'ancrages de poteaux bien conservés, car en partie creusés dans les lambeaux de rendosols encore conservés. Un

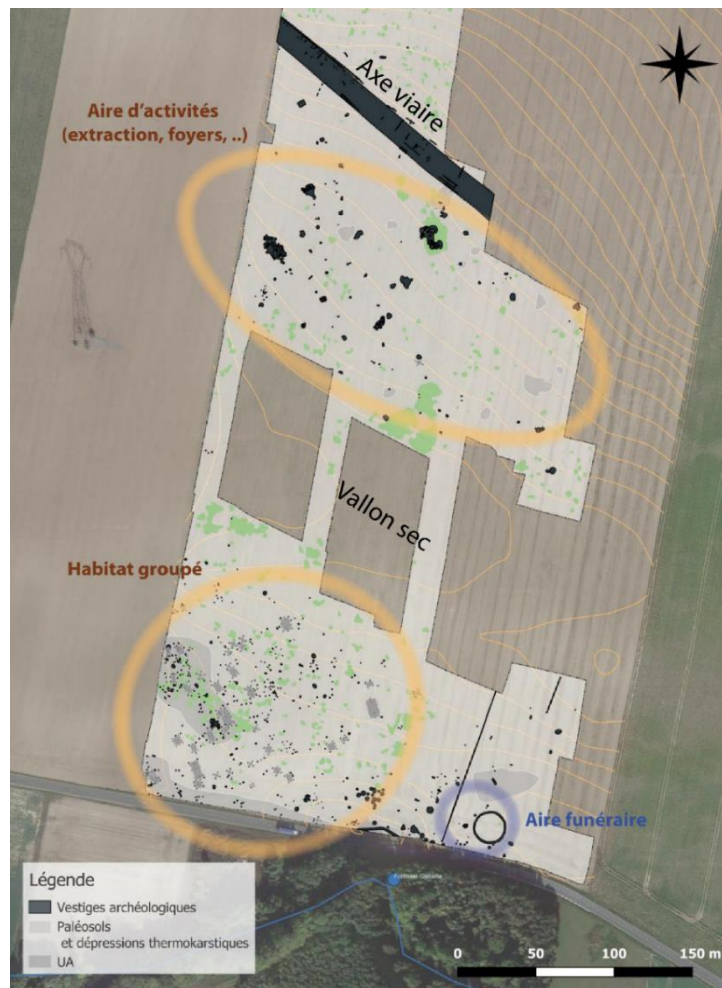
second pôle périphérique, caractérisé par des fosses d'extraction destinées à fournir des matériaux de construction, des fosses de travail et des foyers à pierres chauffantes, est situé au nord de la parcelle, séparé de l'habitat par un petit paléovallon (**figure 2**).

Dans l'angle sud-est de l'emprise, une aire funéraire s'implante en marge de l'espace habité entre 1150 et 800 av. J.-C. Cet espace comporte ainsi un groupe d'incinération en urne caractéristique du XI^e siècle avant notre ère ainsi qu'un tumulus plus tardif, attribué au IX^e siècle av. J.-C. Ce dernier est marqué par un fossé circulaire, d'un diamètre d'une vingtaine de mètres et d'une entrée dirigée au sud-est.

Le site semble ensuite abandonné jusqu'au début du second âge du Fer, entre 450 et 300 av. J.-C, période au cours de laquelle s'installe une batterie de structures d'ensilage, cinq d'entre elles étant par la suite réutilisées en sépultures.

Après cette période, le site semble abandonné avant la mise en place d'un axe viaire localisé dans la partie nord du site, ayant fait l'objet d'observations géoarchéologiques (cf. *infra*).

L'occupation polyphasée du site au cours de la Pré- et Protohistoire offre donc une possibilité de préciser les temporalités d'évolution des dynamiques géomorphologiques sur un secteur potentiellement soumis à l'aléa érosif sur un versant à faible déclivité.



2. Matériel et méthode

Lors du diagnostic archéologique puis de la fouille, des horizons humifères noirâtres ont été interprétés comme des horizons Aca de rendosol. Localisés à la fois dans l'axe d'un vallon, au sein de dépressions pseudo-circulaires ou encore scellés par un axe viaire, une cartographie de ces horizons a été réalisée. Leur caractérisation, tout comme celle des autres formations pédo-sédimentaires mises au jour au sein de l'emprise, associée à une étude chronostratigraphique des séquences, offre la possibilité de déterminer les grandes phases d'érosion et de stabilité durant l'Holocène dans ce secteur d'étude.

La méthodologie mise en œuvre lors de l'opération se base sur l'observation de profils pédologiques le long de la toposéquence, notamment dans les zones de piégeage sédimentaire (tête de vallon sec, dépression) et l'identification des troncatures érosives par rapport aux profils pédologiques de référence des rendosols. D'un point de vue archéologique et environnemental, les dépressions topographiques mises en évidence à l'échelle intra-site constituent des secteurs privilégiés, car elles permettent une bonne conservation des sols et des archives sédimentaires, qui s'y retrouvent piégées alors qu'elles sont facilement sujettes aux processus érosifs sur le reste de l'emprise.

Afin de mieux caractériser les séquences stockées dans les zones de piégeage (sols et formations superficielles), des prélèvements ont été réalisés pour mener des analyses géochimiques : le dosage de matière organique a été réalisé au sein du laboratoire de radiochronologie du Centre d'études nordiques de l'Université de Laval, Québec, par le biais d'un analyseur CHN de type LECO CHN628). L'analyseur CHN mesure le taux de carbone, d'hydrogène et d'azote et a pour avantage de permettre les analyses sur de petites quantités de sédiments, de l'ordre de quelques milligrammes (entre 3 et 50 mg selon la quantité de matière organique estimée).

En complément, les dosages de carbonates (CaCO_3) ont été quantifiés par un laboratoire d'analyse des sols, le Laboratoire Agronomique de Normandie (LANO). Le CaCO_3 a été mesuré à l'aide d'un calcimètre de Bernard, permettant de déduire le carbone inorganique total (CIT ou TIC) ou carbone minéral.

Ces analyses permettent d'aboutir à certaines interprétations concernant les processus pédologiques et post-dépositionnels : en effet, le rapport C/N (carbone organique total/azote) est un rapport qui indique l'aptitude à la décomposition de la matière organique au sein d'un sol. Ainsi, ce rapport permet d'estimer l'activité biologique du sol en matière de décomposition. Si ce rapport est élevé (> 12), il révèle une décomposition lente de la matière organique souvent synonyme d'une activité biologique faible. Cela traduit notamment des conditions d'hydromorphie importante et d'anaérobie, ou de forte acidité. Au contraire, un rapport C/N inférieur à 8 traduit une décomposition très rapide de la matière organique, liée à des activités biologiques intenses (Gagnard et al., 1988). Le rapport C/N est une valeur dont l'intérêt est essentiellement agronomique, avec un optimum de l'ordre de 10.

3. Résultats

3.1. *Faciès et unités pédosédimentaires mis en évidence dans les zones de piégeage*

Au sein de la majeure partie de l'emprise, et notamment dans la partie nord de l'emprise (amont), l'horizon labouré subactuel (horizon Ap) repose directement sur le toit des formations crayeuses altérées. Cette faible puissance stratigraphique suggère ainsi une érosion massive des horizons de sols développés depuis le début de l'Holocène, puisque les horizons de référence des rendosols ne sont pas conservés sur une superficie importante de l'emprise.

La conservation d'archives pédosédimentaire dans des zones de piégeage (dépression topographique, tête de vallon, structures en creux comme le comblement de fosses en Y) a toutefois permis d'appréhender l'évolution pédologique et les dynamiques morphosédimentaires au sein de l'emprise.

La réalisation de trois transects (**figure 3**) au sein d'un petit vallon sec peu profond et orienté vers l'ouest a permis la mise en évidence de trois unités stratigraphiques principales dans cette zone de stockage :

– L'unité Cca correspond à l'interface entre les grèzes crayeuses ou la craie coniacienne et les unités qui la surmontent. Il s'agit d'un sédiment gris à texture sablo-limoneuse, riche en granules de craie.

– L'unité Aca correspond à un horizon limono-sableux brun foncé à noirâtre, bioturbé. Cette bioturbation s'exprime sous la forme de canalicules de lombricidés et de la présence de radicules. Il comporte de petits granules crayeux sub-anguleux issus de l'altération in situ du substratum crayeux. Ces deux horizons étant scellés par un dépôt colluvial postérieur, ils correspondent ainsi à un reliquat de paléo-rendosol développé in situ et conservé à la faveur des dépressions topographiques.

– L'unité Coll surmonte en effet les deux précédents horizons du paléo-rendosol et se présente sous la forme d'un sédiment très mal trié, à matrice hétérogène brun clair, parfois pseudo-lités, ce qui témoigne d'une dynamique et d'apports rythmés. Elle est riche en graviers silico-calcaires pseudo-émoussés de morphométrie variée (entre 3 mm et 2 cm de diamètre). Parfois un sous-faciès moins grossier (collF) est identifiable dans la partie supérieure, suggérant un ralentissement de la dynamique (granoclassement positif).

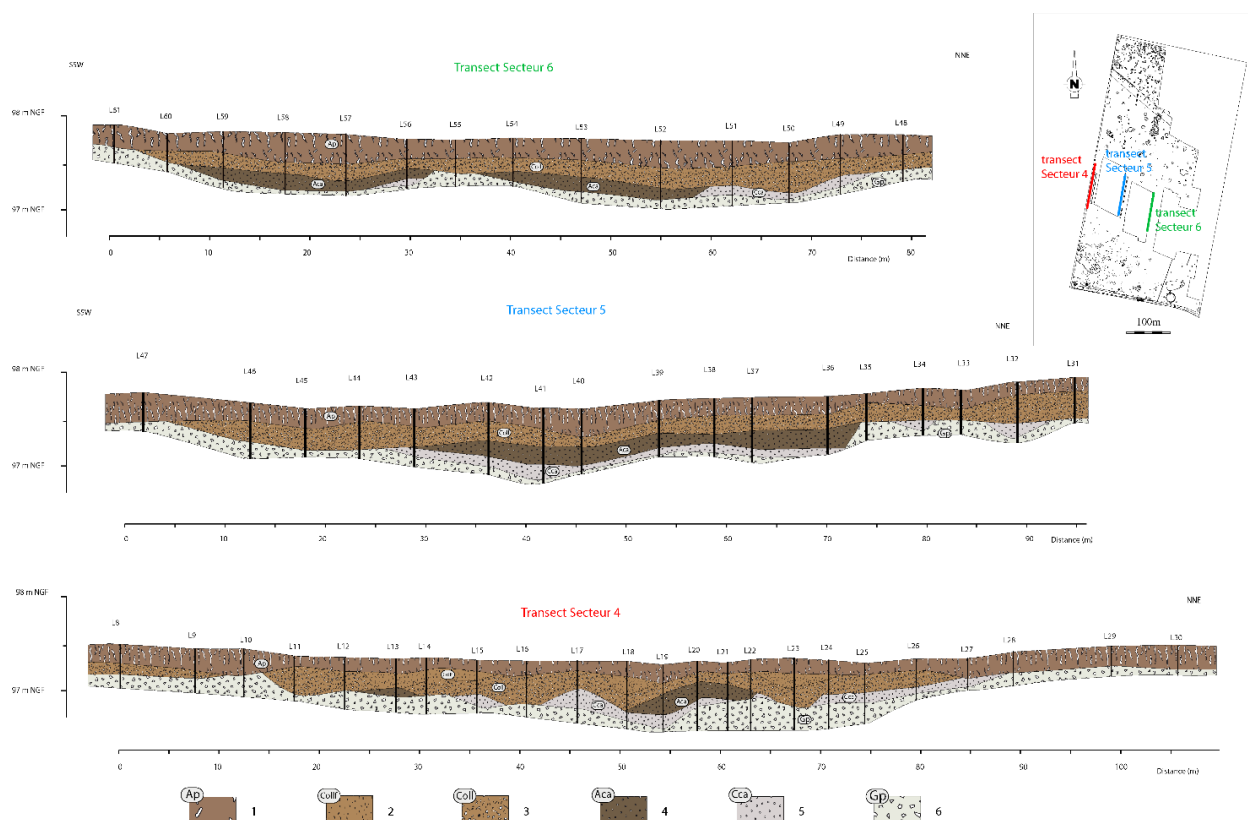


Figure 3. Transects réalisés dans l'axe du paléovallon. 1. Horizon de labours ; 2. Colluvions sableuses fines ; 3. Colluvions sableuses grossières et clastes silico-calcaires ; 4. Horizon Aca : paléosurface humifère ; 5. Horizon Cca : horizon d'accumulation carbonaté ; 6. Grèzes crayeuses à matrice pseudo-limoneuse carbonatée.

Au sein d'une dépression topographique mise en évidence au sud de l'emprise, la partie supérieure de l'unité Coll correspond à un dépôt brun foncé, légèrement plus humifère, à structure grumeleuse à polyédrique, fortement bioturbée (unité CollP). Ces facteurs post-dépositionnels suggèrent une phase de pédogenèse transformant les colluvions déjà stockées dans la dépression dans un milieu plus stable.

3.2. Caractérisation géochimique des différents faciès rencontrés

Les dosages de CaCO_3 et de carbone total ont permis de déduire le taux de carbone organique et de carbone minéral au sein des différentes unités sédimentaires et des horizons pédologiques mis en évidence. Les taux élevés de CaCO_3 correspondent à ceux des sols développés sur substrat crayeux et comportent une fraction très élevée de carbonates issus de l'altération des craies sous-jacentes (**tableau 1**). En effet, les taux de carbonates sont compris entre 62 et 85 %. Les échantillons les plus carbonatés (entre 85 et 88 % de CaCO_3) correspondent à l'horizon Cca, c'est-à-dire à la partie basale des rendosols, fortement enrichis en granules crayeux lors de la pédogenèse. *A contrario*, les échantillons les moins carbonatés correspondent au paléo-horizon de surface humifère, Aca.

Référence échantillon	Faciès	CaCO_3 total (%)	Cmin (%)	Azote (%)	Corg (%)	MO (%)	Rapport C/N
G4	Aca	75,40	9,05	0,06	1,92	3,30	33,54
G5	Aca	76,44	9,17	0,07	1,64	2,81	22,25
G6	Aca	74,43	8,93	0,11	0,15	0,25	1,38
G7	Aca	76,44	9,17	0,06	2,06	3,54	32,59
G12	Aca	82,50	9,90	0,06	0,34	0,59	5,51
G13	Aca	62,36	7,48	0,06	1,66	2,86	27,99
G14	Aca	62,36	7,48	0,07	0,69	1,19	10,43
G15	Aca	81,47	9,78	0,05	1,27	2,18	23,64
G16	Aca	78,45	9,41	0,07	1,60	2,76	24,14
G17	Aca	78,45	9,41	0,10	2,06	3,54	20,30
G18	Aca	86,49	10,38	0,06	1,51	2,60	25,73
E11	Aca	86,49	10,38	0,04	0,59	1,02	15,44
E12	Aca	82,47	9,90	0,10	1,13	1,94	11,83
E13	Aca	84,48	10,14	0,10	0,93	1,60	9,45
E15	Aca	85,49	10,26	0,10	0,86	1,49	8,79
E16	Aca	75,43	9,05	0,10	2,26	3,89	21,87
E19	Aca	80,46	9,66	0,06	1,87	3,22	31,26
E20	Aca	82,47	9,90	0,09	0,67	1,14	7,38
E24	Aca	81,47	9,78	0,08	0,44	0,76	5,26
E25	Aca	84,48	10,14	0,08	1,27	2,18	16,32
E22	Ap	78,45	9,41	0,21	2,22	3,82	10,50
G19	Cca	89,51	10,74	0,09	0,52	0,90	6,00
E14	Cca	87,50	10,50	0,09	0,61	1,05	6,51
E17	Cca	85,49	10,26	0,06	0,52	0,90	8,12
E18	Cca	87,50	10,50	0,06	0,39	0,68	7,00
E21	Cca	87,50	10,50	0,05	0,36	0,62	7,03
E26	Cca	88,51	10,62	0,06	0,09	0,16	1,56
G8	Coll	77,44	9,29	0,10	0,93	1,60	9,23
G9	Coll	85,49	10,26	0,07	1,01	1,73	14,76
G10	Coll	85,49	10,26	0,11	1,52	2,61	13,33
G11	Coll	87,50	10,50	0,10	1,50	2,57	14,30
G20	Coll	72,41	8,69	0,16	1,85	3,17	11,59
E23	Coll	80,46	9,66	0,15	1,35	2,32	8,75
G1	CollP	80,46	9,66	0,05	2,19	3,77	41,26
G2	CollP	79,45	9,53	0,16	1,01	1,74	6,32
G3	CollP	78,45	9,41	0,14	0,24	0,41	1,70

Tableau 1. Résultats des analyses géochimiques sur les principaux faciès rencontrés.

Par conséquent, ces derniers correspondent aux échantillons les plus riches en matière organique (COT), avec un taux de carbone organique atteignant régulièrement 2 %. Cette distinction entre les horizons et unités pédosédimentaires s'observe également pour les dosages de carbone organique et minéral.

Le rapport C/N globalement très élevé permet quant à lui de mettre en évidence une décomposition lente de la matière organique au sein de l'horizon de surface du paléosol, synonyme d'une activité biologique relativement plus faible, ou bien d'une disparition des composants azotés par lixiviation ou dégradation. *A contrario*, l'activité biologique semble plus active dans la couche basale des rendosols avec une meilleure dégradation de la matière organique.

Toutefois, l'observation des données permet de mettre en évidence une disparité des rapports C/N. Certaines valeurs pourraient être caractéristiques d'humus de type Mull carbonatés, compris entre 10 et 15 (Duchaufour, 1995 ; Ponge, 2003 ; Baize, 2004) avec une bonne incorporation de la matière organique. Les très fortes valeurs du rapport C/N, parfois supérieures à 15, peuvent évoquer un humus de type Mor (Duchaufour, 1995 ; Lozet & Mathieu, 2002 ; Ponge, 2003 ; Baize, 2004), ce qui n'est pas cohérent avec un milieu calcaire et non acide. Ces rapports élevés pourraient ainsi être liés à l'abondance de calcium, favorisant le lien entre matière organique et les argiles et la formation de complexes argilo-humiques (Duchaufour, 1995 ; Caillier, 1999 ; Lozet & Mathieu, 2002). À travers ces données quantifiées, il est tentant de suggérer que l'horizon Aca particulièrement organique pourrait refléter la densité du couvert forestier avant l'implantation anthropique, hypothèse soulevée par la présence de nombreux chablis recoupés par les structures archéologiques fossoyées.

Les données obtenues sur les différents dépôts colluviaux (unité Coll) illustrent une fraction carbonatée importante et peu de matière organique. Cela pourrait refléter une morphogenèse relativement récente, dérivée de l'érosion de sols déjà peu humifères.

3.3. Des zones de piégeages sédimentaires héritées d'un contexte périglaciaire

Lors du décapage réalisé au sein de l'emprise, plusieurs dépressions pseudo-circulaires ont pu être mises au jour (**figure 4**). Ces dernières sont régulièrement observées en Champagne crayeuse (Michel, 1973 ; Baize et al., 2007 ; Van Vliet-Lanoë et al., 2013, 2016, 2018 ; Andrieux et al., 2016a, 2016 b, 2018 ; Bertran et al., 2018 ; Gonnet in Chauvin, 2019) ainsi qu'à l'échelle du nord de l'Europe (Dylik et Rybezynska, 1964). Elles résultent de la dégradation du pergélisol en contexte périglaciaire durant les périodes froides du Pléistocène.

Elles s'apparentent à des cuvettes thermokarstiques, qui trouvent leur origine dans l'affaissement du sol lors de la fonte du pergélisol en contexte de transition glaciaire/interglaciaire. En effet, cet affaissement résulte d'une dégradation du permafrost en profondeur, et d'un tassement facilité par l'existence de réseaux polygonaux de fentes de gel, les deux modelés étant régulièrement associés (Van-Vliet Lanoë et al., 2013 ; Bertran et al., 2018).

Ces formations et leur morphogenèse sont par ailleurs très bien documentées dans les actuelles zones situées en domaine périglaciaire (Gangloff, 1973 ; Seguin & Allard, 1984 ; Hurault, 2011). L'évolution du karst thermique basé sur des structures polygonales évolue à l'heure actuelle sous les hautes latitudes en dépressions fermées et en pseudo-lacs, lorsque l'eau de fonte apparaît et accélère la dégradation du pergélisol en profondeur (Dylik et al., 1964 ; Seguin & Allard, 1984). Ces observations des processus actuels aux hautes latitudes permettent de comprendre la formation de ces dépressions thermokarstiques à la transition Pléistocène/Holocène sous nos latitudes tempérées (Dylik et al., 1964 ; Andrieux et al., 2016a ; Van-Vliet Lanoë, 2016).

Les processus morphogénétiques hérités des contextes périglaciaires offrent des perspectives intéressantes pour la recherche archéologique en Champagne, car les sols développés au cours de l'Holocène y sont généralement conservés, préservés par une épaisse sédimentation colluviale.

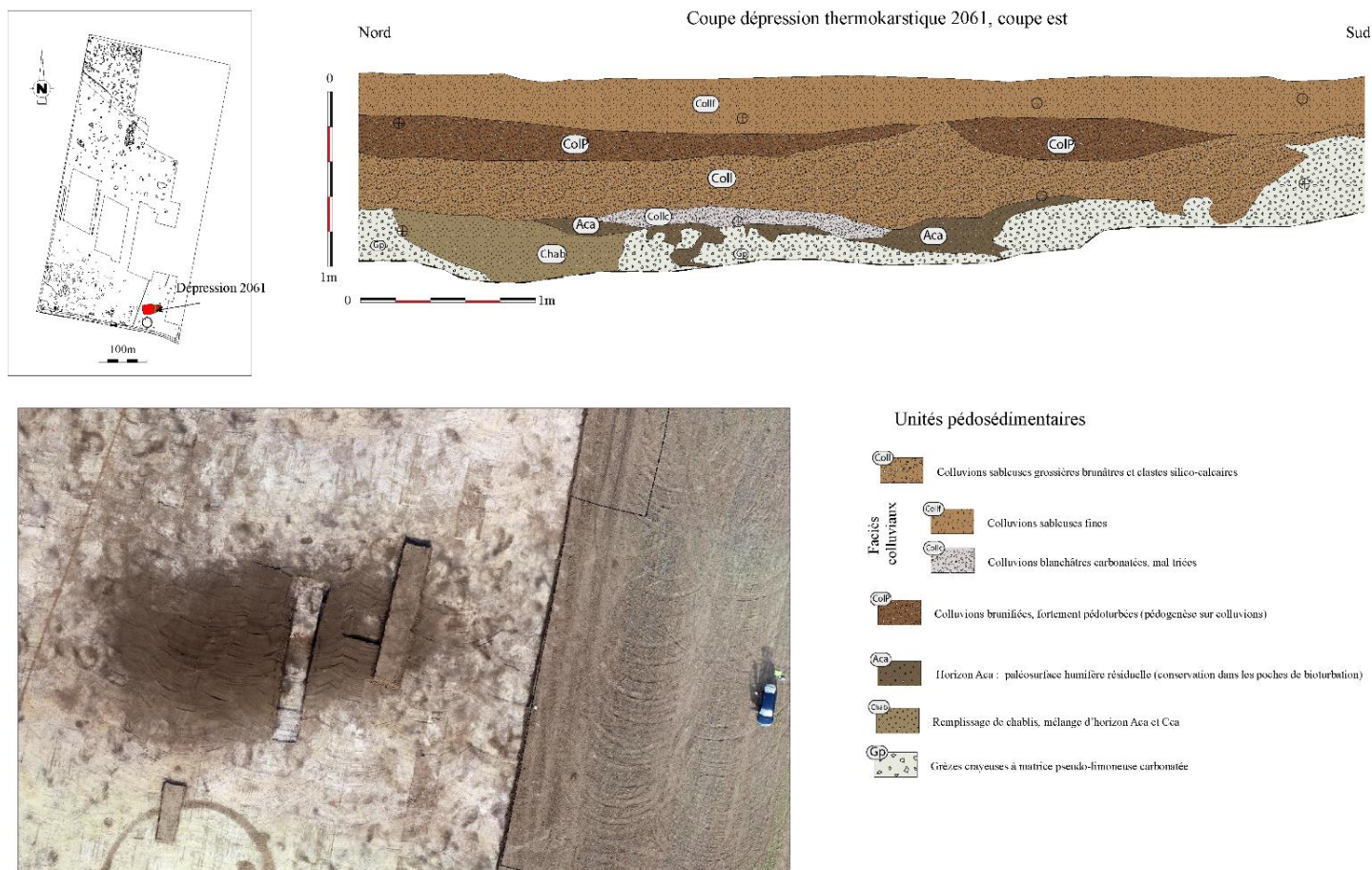


Figure 4. Coupe et photographie en plan réalisées dans la dépression thermokarstique 2061.

Ces zones de piégeage sédimentaire conservent donc les colluvions résultant de l'érosion des sols développés depuis la fin de la dernière période froide. Dans la partie amont de l'emprise, au nord, le très faible recouvrement sédimentaire (horizon de labours reposant directement sur la craie) témoigne donc de l'intensité des processus érosifs, accélérés par l'agriculture mécanisée (comme l'indiquent les nombreuses traces de sous-solage visible au toit des grèzes ou de la craie du Coniacien) ainsi que par un léger pendage vers le sud, favorisant le ruissellement.

Dans le contexte champenois où les rendosols sont relativement peu dilatés, il est particulièrement difficile de déterminer l'ensemble des phases d'érosion/sédimentation et d'en préciser la chronologie. En effet, les rendosols sont des *solum* peu épais dont la pédogenèse est rapide et dont l'horizon de surface concentre des vestiges mobiliers diachroniques sur une épaisseur d'une trentaine de centimètres. Il est ainsi peu pertinent de dater les lambeaux observés par radiocarbone. De même, pour appréhender la chronologie des troncatures érosives, il n'est pas possible de dater par radiocarbone les dépôts de pente (colluvions) stockés dans les pièges sédimentaires. En raison de leur morphogenèse, ces dépôts colluviaux peuvent en effet remanier des charbons antérieurs au processus érosif. En outre, les processus post-dépôtionnels (bioturbation, brassage par la mésofaune et pédofaune) peuvent entraîner des enfouissements de charbons, plus récents que le dépôt. Les cas de datation relative des colluvions sur la base de recoupements par des structures archéologiques bien datées restent cependant très peu nombreux (Fechner et al., 2014 ; Petit et al., ce volume). En excluant une possibilité de datation absolue, il est toutefois possible de proposer de rapprocher les données stratigraphiques et archéologiques reconnues à l'échelle intra-site avec les grandes phases d'érosion/sédimentation bien documentées à l'échelle régionale (Fechner et al., 2014 ; Gebhardt et

al., 2014) par les archives fluviales (Pastre et al., 2002, 2003) ou les dépôts de pente (Gonnet et al., 2021).

Sous nos latitudes tempérées, l'évolution du couvert végétal est un facteur ayant un impact fort sur l'érosion des sols (Auzet, 1987). À Faux-Fresnay, les nombreuses traces de chablis mis en évidence témoignent d'un milieu particulièrement boisé au cours de l'Holocène. Ces chablis ne sont pas datés, mais ils ne comportent pas de mobilier archéologique résiduel, ce qui suggère qu'ils sont antérieurs aux phases d'occupation du Bronze final. Les indices archéologiques et les structures mises au jour suggèrent qu'entre le Néolithique ancien et le Bronze moyen, le milieu reste encore relativement fermé, comme l'illustrent la présence des fosses de chasse et les restes de faune sauvage. C'est à partir du Bronze final que les vestiges fossoyés s'étendent spatialement sans toutefois occuper l'intégralité du versant, encore probablement boisé en partie. En outre, les nombreux chablis mis au jour restent largement recoupés stratigraphiquement par les structures fossoyées protohistoriques, liées à l'occupation du Bronze final (aire d'habitat et funéraire). Les défrichements successifs ayant probablement eu lieu en parallèle de l'occupation à l'âge du Bronze facilitent également l'érosion des sols au cours du temps.

La présence de structures (notamment des unités architecturales constituées de plusieurs trous d'ancrages de poteaux) attribuées au Bronze final sous les paléosurfaces conservées en partie sud de la parcelle offre un *terminus post quem* pour la mise en place des colluvions qui les surmontent. De même, le mobilier archéologique piégé dans les lambeaux de rendosol couvre un large spectre chronologique, allant du Néolithique ancien (quelques fragments de tessons) à l'époque moderne (quelques tessons). Mais le mobilier récolté au sein de ces anciennes surfaces peut être intrusif et ne peut être utilisé comme un moyen de préciser la chronostratigraphie. *A contrario*, ces paléosurfaces comportent un abondant mobilier archéologique attribué au Bronze final, et correspondent également au niveau d'apparition de nombreuses structures en creux attribuées à cette même période.

En parallèle, certaines structures (telles que des foyers) et du mobilier archéologique protohistorique daté du Bronze final ont été mis en évidence dans la partie supérieure de l'une des dépressions thermokarstiques. Cela suggère un premier apport détritique contemporain à postérieur de l'occupation protohistorique, conservé dans cette zone de piégeage sédimentaire et une déstabilisation des versants polyphasée à l'échelle du site.

Une première phase de déstabilisation des sols semble enregistrée avec les premiers apports colluviaux stockés dans les thermokarsts. Postérieurement à ces dépôts, une pédogenèse se développe aux dépens de ces premiers matériaux remaniés (unité CollP). Cette pédogenèse semble témoigner d'un milieu de nouveau stable, potentiellement plus fermé, où se développe à nouveau un sol humifère toutefois non daté. Toutefois, un foyer attribué au Bronze final et du mobilier céramique identifié au décapage du thermokarst semble préciser les bilans d'érosion/sédimentation. Cette formation de sol aux dépens de dépôts colluviaux (CollP) pourrait être contemporaine du Bronze final, comme semble l'attester la présence du foyer. Au moins une quarantaine de centimètres de colluvions se sont donc accumulées dans cette dépression depuis les premières phases de déstabilisation et ce jusqu'au Bronze final.

La reprise de l'érosion, postérieurement à cette phase de stabilité pédologique, semble donc contemporaine ou postérieure à l'occupation Bronze final, puisque des éléments de mobilier sont mis au jour dans la partie supérieure du colmatage de la dépression. Ce schéma est également récurrent en Champagne crayeuse et a déjà été mis en évidence à l'aide des indicateurs malacologiques autour de Reims (Granai et al., 2024) ou dans la plaine de Troyes (Granai, 2021).

De même, afin d'affiner le calage chronologique des phases de déstabilisation des sols de Faux-Fresnay, il convient de s'intéresser aux comblements des structures en creux de différentes périodes. Ainsi, le comblement des structures en creux du Bronze final est, en tout logique, riche en humus (puisque elles apparaissent au sein de ces niveaux humifères). *A contrario*, les structures de l'âge du Fer (La Tène A) telles que la batterie de silos localisée dans la partie sud de l'emprise, présentent un colmatage moins riche en matière humifère. Ce colmatage semble bien plus enrichi en sédiment à granules crayeux, suggérant un milieu déjà ouvert et bien moins humifère.

3.4. L'axe viaire

Dans la partie nord de l'emprise fouillée, la plus érodée, un axe viaire a été mis en évidence (**figure 5**). Il a été identifié sur une portion de 170 m de long, 14 m de large et il est caractérisé par une série d'ornières profondes, atteignant régulièrement le toit des grèzes crayeuses. Ses fossés bordiers recoupent l'horizon de sol humifère, la paléosurface de type rendosol apparaissant ainsi préservée de l'érosion par ce chemin. Cette relation stratigraphique offre une datation relative pour caler l'érosion des sols généralisée au sein de l'emprise. Dans la partie sud de la coupe réalisée, le toit du rendosol holocène apparaît toutefois scellé par un petit dépôt colluvial brun, grossier et mal trié, à matrice sableuse et comportant de nombreux clastes silico-calcaires.

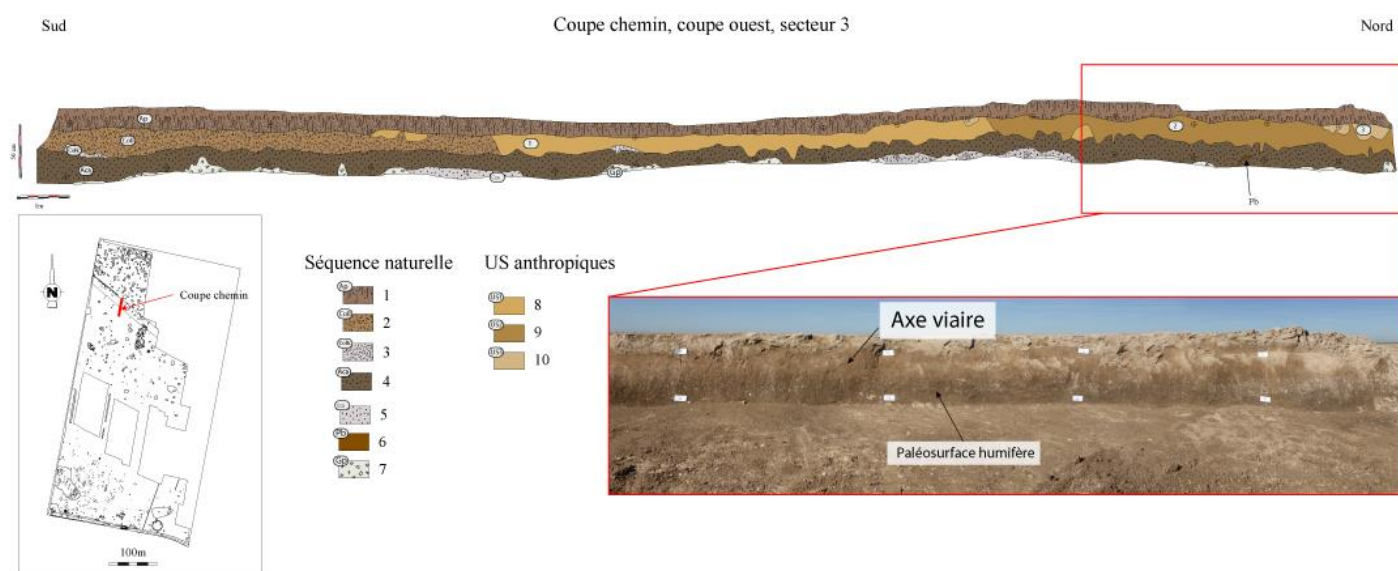


Figure 5. Chemin médiéval mis en évidence dans la partie nord de l'emprise de fouille de Faux-Fresnay. 1. Horizon de labours anthropoturbé ; 2. Colluvions sableuses grossières brunâtres et clastes silico-calcaires ; 3. Colluvions blanchâtres carbonatées, mal triées ; 4. Horizon Aca : paléosurface humifère résiduelle, horizon bioturbé, brun foncé à noirâtre, riche en fragments crayeux ; 5. Horizon Cca : base du paléosol, sédiment limono-sableux brun clair à granules crayeux ; 6. Poche de bioturbation animale ; 7. Grèzes crayeuses à matrice pseudo-limoneuse carbonatée ; 8. Sédiment limoneux brun orangé à granules crayeux épars compact ; 9. Sédiment limono-sableux brun foncé à granules crayeux épars ; 10. Sédiment limoneux beige clair sans granules crayeux.

Les données cartographiques anciennes et les photographies aériennes mettent en évidence une utilisation de cet axe viaire sur le temps long (**figure 6**). En effet, ces archives confirment une utilisation encore récente de ce chemin, au cours du XX^e siècle, puisque ce dernier apparaît sur des clichés photographiques aériens pris en 1960, avant le remembrement parcellaire (**figure 6A**). De même, il est encore visible sur les cartes topographiques réalisées par l'IGN en 1950 (**figure 6B**), sur

les cartes d'État-major établies au cours du XIX^e siècle entre 1820 et 1866 (**figure 6C**) ou encore sur la carte dite « de Cassini » du XVIII^e siècle (**figure 6D**).



Figure 6. Emprise de la fouille de Faux-Fresnay (en rouge) et mise en évidence du chemin médiéval (pointillé noir) sur les sources photographiques et cartographiques géoréférencées (Lambert 93). A. Photographie aérienne IGN 1950-1965 ; B. Carte topographique IGN 1950 ; C. Carte d'État-major (1820-1866) ; D. Carte dite de « Cassini » (XVIII^e siècle).

Outre ces données cartographiques, la fouille de cet axe a permis de découvrir du mobilier archéologique de la fin de l'époque moderne (monnaie type Liard de France en cuivre, frappée entre 1655 et 1658) ainsi qu'une sépulture isolée à proximité de la voie. Cette dernière contenait notamment du mobilier métallique permettant une attribution au VIII^e-IX^e siècle de notre ère.

Ces indices suggèrent ainsi une fréquentation de cet axe dès le Moyen Âge. Au moment de sa mise en place, le rendosol holocène est donc encore en partie préservé, malgré la mise en place des premiers apports détritiques dès l'âge du Bronze, comme les structures en creux et les cuvettes thermokarstiques l'attestent pour le secteur voisin.

3.5. Synthèse : l'évolution chronologique du site de Faux-Fresnay

L'ensemble des données chronostratigraphiques et des datations relatives obtenues permet de proposer une hypothèse d'évolution morphodynamique diachronique du site (**figure 7**). Les périodes froides du Quaternaire et les oscillations climatiques du Tardiglaciaire aboutissent dans un premier temps à l'héritage périglaciaire mis en évidence sur le site (altération de la craie et mise en place des grèzes crayeuses, dépressions thermokarstiques). À la faveur du retour à des conditions climatiques favorables (optimum climatique holocène), les séquences pédologiques enregistrent une phase de stabilité paysagère dominée par le développement d'un couvert végétal humifère avec une lente décomposition de matière organique au cours de la première moitié de l'Holocène. Toutefois, les premiers apports détritiques enregistrés dans les dépressions sont antérieurs à l'occupation

protohistorique et témoignent d'une érosion polyphasée du site. En effet, ces premiers apports précèdent une seconde phase de pédogenèse qui s'est développée aux dépens des colluvions. Ces premières phases de déstabilisation des sols ne peuvent cependant pas être datées précisément. Toutefois, les données obtenues à l'échelle régionale mettent en avant une première crise érosive au cours du Subboréal, période caractérisée par une succession d'événements climatiques bouleversant les milieux (événement de 4,2 ka) couplée à un forçage anthropique généralement attribué aux sociétés de l'âge du Bronze (Gebhardt et al., 2014 ; Gonnet et al., 2021).

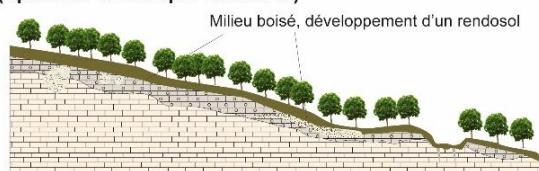
Phase 1 : Pléniglaciaire supérieur



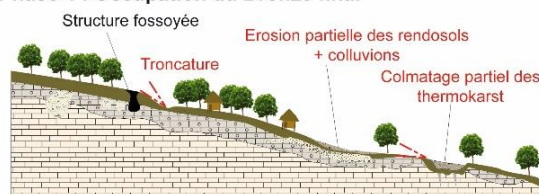
Phase 2 : Tardiglaciaire



Phase 3 : Première moitié de l'Holocène (optimum climatique holocène)



Phase 4 : Occupation du Bronze final



Phase 5 : Du Bronze final à l'âge du Fer (La Tène A)



Phase 6 : Première moitié du Subatlantique



Phase 7 : Epoque modernes et contemporaines

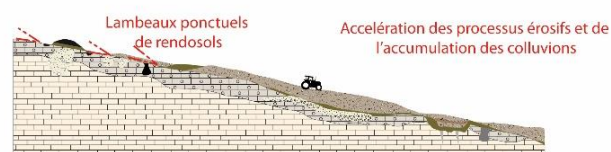


Figure 7. Proposition d'évolution morphodynamique diachronique du site de Faux-Fresnay.

Lors de l'occupation au Bronze final, les horizons de rendosol restent toutefois en partie conservés puisque la fouille a mis en évidence leur anthropisation dans la partie basse de l'emprise. Ils pourraient être en partie tronqués à La Tène A, comme le colmatage moins humifère des silos de cette période le laisse penser. Les données connues à l'échelle extra-régionale en Lorraine témoignent par ailleurs d'une nouvelle phase de stabilité relative des paysages à l'époque médiévale (Gebhardt *et al.*, 2014), corrélable à une structuration des espaces agraires, bien que « la généralisation de ces dynamiques paysagères n'est pas possible dans une confrontation avec les recherches historiques sur les secteurs d'étude » (Garnier, 2004).

La voie médiévale, qui a perduré au cours des périodes modernes et contemporaines, a toutefois joué un rôle de protection des rendosols de Faux-Fresnay alors qu'une dernière phase érosive particulièrement marquée au cours des périodes modernes et contemporaines affecte le reste du secteur. À l'échelle régionale, l'érosion de ces sols humifères est aisément attribuable à la seconde moitié de l'Holocène (Petit *et al.*, ce volume), lorsque les déstabilisations de versant sont accentuées par une mise en culture des sols et une pression anthropique toujours plus marquée sur les milieux.

Toutefois, les études récentes sur les dépôts de pente ont mis en évidence la non-linéarité du système érosion/sédimentation, qui dépend en premier lieu de la mosaïque des paysages anthropisés (Boulen et al., 2012 ; Gonnet et al., 2021 ; Gonnet et al., 2025). L'enregistrement pédosédimentaire reconnu sur le site de Faux-Fresnay montre bien que la déstabilisation des sols est polyphasée et fonction du type d'occupation et de la mise en culture des versants.

Mais les données chronologiques fournies par la conservation de ces horizons de sols sous l'axe viaire suggèrent donc une dernière phase d'érosion généralisée relativement tardive à l'échelle de l'histoire du site. Il est ainsi possible de la corréler à l'essor de l'agriculture mécanisée au cours du XX^e siècle, comme le suggèrent les traces de sous-solage visibles dans la partie nord de l'emprise.

4. Discussion

4.1. D'autres sites d'étude en Champagne

En Champagne crayeuse, d'autres opérations d'archéologie préventive ont permis de mettre au jour la conservation d'horizons de sols (paléosurface ou non) sous d'anciens axes viaires ou à proximité de ces derniers, dans des contextes géologiques, géomorphologiques et pédologiques parfois variés.

Les rendosols préservés par ces axes viaires, parfois très récents, car encore visibles sur des photographies aériennes pré-remembrement, constituent les sols types les plus courants. Ces sites de comparaison n'ont pas toujours permis d'obtenir autant de données concernant les temporalités des dynamiques géomorphologiques qu'à Faux-Fresnay. Mais la présence des axes viaires permet toutefois de fournir ces éléments de chronologie relative, à travers un terminus post quem pour caler l'érosion généralisée des sols :

À Beaumont-sur-Vesle (Marne), l'axe viaire antique reliant Reims à Châlons-en-Champagne (Via Agrippa) scelle notamment un lambeau de rendosol, suggérant que ce dernier n'est pas encore tronqué à l'Antiquité (Godard, 2020). Ce lambeau de rendosol, observé à la fois dans le cadre du diagnostic archéologique puis de la fouille menée à l'été 2021, n'est pas conservé sur le reste de l'emprise. La troncature de ce dernier apparaît donc postérieurement à l'Antiquité, sans plus de précision chronostratigraphique. En outre, une dépression d'origine thermokarstique a également été mise au jour sur le site, stockant une grande partie du matériel sédimentaire issu de l'érosion des sols. Toutefois, au contraire du site de Faux-Fresnay, il est difficile d'affiner l'évolution diachronique du site de Beaumont-sur-Vesle, en raison de données chronologiques lacunaires en dehors de l'Antiquité.

À Premierfait (Aube), une opération de diagnostic récemment menée par l'Inrap a également mis en évidence des lambeaux de rendosols protégés de l'érosion par un petit chemin rural visible sur les photographies aériennes précédant le remembrement de la seconde moitié du XX^e siècle (Canet, 2021). Cet axe étant la seule occurrence archéologique mise au jour (aucune zone de stockage sédimentaire n'ayant été découverte), il est également difficile d'affiner le modèle d'évolution diachronique au contraire de l'étude réalisée dans le cadre de la fouille de Faux-Fresnay.

Enfin, à Lavau « L'Étang » (Aube), le terminus offert par un chemin préservant les lambeaux de rendosol holocène est attribuable à l'époque médiévale (Kasprzyk, 2024), certaines structures en creux comme des fosses en Y attribuables au Néolithique suggérant également une érosion polyphasée de ce site. Ces trois sites ne sont que des exemples parmi d'autres, mais sont tous localisés dans des contextes pédologiques de type rendosol.

La particularité du site de Faux-Fresnay, en comparaison de ces derniers, est de comporter à la fois des pièges sédimentaires tels que des thermokarsts (stockant les archives du sol depuis la fin du Tardiglaciaire), des structures en creux de différentes périodes de la Protohistoire et enfin un axe viaire médiéval. La présence combinée de ces objets d'études pour le géoarchéologue permet de documenter et de proposer une étude de l'évolution morphodynamique plus fine du site pour l'Holocène.

Dans des contextes géomorphologiques et pédologiques différents, ces exemples peuvent toutefois être complétés par des séquences apparentées aux précédentes. Dans la plaine de Troyes, les luvisols développés aux dépens de placages éo-alluviaux à Bréviandes « ZAC Saint-Martin » (Langry-François, à paraître) ont également été en partie préservés de l'érosion par des axes modernes à contemporains, de type chemin rural. De tels cas de figure dans des contextes où les luvisols sont facilement soumis à l'érosion, témoignent notamment d'une troncature récente des sols et des vestiges. Ce contexte marque également un état de conservation des sites qui ne fait qu'empirer en raison de l'impact des pratiques agro-industrielles.

4.2. Comparaisons inter-régionales

À titre comparatif, à l'échelle du Bassin parisien, les processus érosifs se généralisent à partir de la Protohistoire, en particulier à partir de la fin de l'âge du Fer, malgré des temporalités de morphogenèse colluviale résultant des différences de pression anthropique sur les milieux (Lespez, 2012 ; Gebhardt et al., 2014 ; Gonnet, 2017 ; Gonnet et al., 2021). Cette pression anthropique étant de plus en plus importante au cours du Subatlantique, et en particulier des époques modernes et contemporaines, on parle alors de morphogenèse accélérée (Neboit-Guilhot, 1999, 2010). Des phénomènes similaires sont également recensés à l'échelle du Nord-Ouest européen. En Belgique ou en Allemagne, l'accélération des crises érosives de la seconde moitié du Subatlantique (postérieurement à 1000 AD) entraîne une part plus importante du stockage sédimentaire dans les grandes vallées (Kalis et al., 2003 ; Thiemeyer et al., 2005 ; Verstraeten, 2008a, 2008 b ; Dotterweich, 2008, 2012). Ces études suggèrent ainsi une non-linéarité du système érosion/transfert/sédimentation en fonction du temps et de l'espace, ainsi que des mosaïques de pression anthropiques différentielles à l'Holocène récent.

Le site de Faux-Fresnay semble ainsi s'inscrire dans ces schémas d'évolution morphodynamique polyphasée, relativement cohérents avec les données régionales et extra-régionales, malgré toute la difficulté d'affiner la chronologie de ces événements.

Conclusion

L'érosion des sols champenois est au cœur des problématiques locales concernant l'évolution des paysagères et les mutations morpho- et pédosédimentaire à l'Holocène, car elle conditionne notamment la taphonomie des vestiges archéologiques.

Outre les structures en creux ou les zones de conservation préférentielles des archives du sol, telles que les vallons secs et dépressions thermokarstiques, il convient de s'intéresser aux axes viaires qui structurent les paysages et offrent des calages chronologiques pour aborder la temporalité des dynamiques pédo- et morpho-sédimentaires. À Faux-Fresnay, ces structures anthropiques et les datations relatives qu'elles fournissent mettent notamment en lumière une première phase érosive postérieure à l'occupation du Bronze final, puis une accélération des processus érosifs au cours de la seconde moitié du Subatlantique, en lien avec l'agriculture mécanisée.

Le site de Faux-Frenay et ses archives pédosédimentaires constituent donc une étude de cas vouée à alimenter le corpus de données existantes pour les thématiques liées à l'érosion des sols en Champagne sous l'action des forçages anthropo-climatiques.

En confrontant également les données géoarchéologiques obtenues à Faux-Fresnay avec celles d'autres sites où l'érosion des sols a été limitée par des axes viaires, dans des contextes géomorphologiques, archéologiques et pédologiques variés, il est possible de mettre en évidence une érosion polyphasée des sites champenois. Cette remise en contexte souligne ainsi toute la difficulté à déterminer une unique période de généralisation des processus érodo-sédimentaires. Ces données viennent ainsi témoigner de la complexité spatio-temporelle des réponses morphosédimentaires aux interactions sociétés / milieux. Malgré des modèles généralisables, cette diversité des réponses semble ainsi bel et bien liée à un forçage anthropique et une pression différentielle sur les milieux et les sols.

Conflit d'intérêts

Aucun conflit d'intérêts à déclarer.

Évaluation

Les rapporteurs de cet article sont Christophe Petit et Dominique Schwartz.

Responsabilité des évaluateurs et évaluatrices externes

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

Références bibliographiques

- Achard-Corompt, N., Riquier, V., 2014. Les fosses à profil en Y : un nouveau champ de recherche pour le Néolithique ou pourquoi continuer de fouiller les fosses à profil en Y ? *Bulletin de la Société Archéologique Champenoise*. 107 (4), 365-384.
- Andrieux, E., Bertran, P., Saito, K., 2016a. Spatial analysis of the french Pleistocene permafrost by a GIS database. *Permafrost and Periglacial Process*. 27 (1), 17-30. <https://doi.org/10.1002/ppp.1856>
- Andrieux, E., Bertran, P., Antoine, P., Deschodt, L., Lenoble, A., Coudart S., Van Vliet-Lanoë, B., 2016b. Database of Pleistocene periglacial features in France : description of the online version. *Quaternaire*. 27 (4), 329-339. <https://doi.org/10.4000/QUATERNAIRE.7717>
- Andrieux, E., Bateman, M., Bertran, P., 2018. The chronology of Late Pleistocene thermal contraction cracking derived from sand wedge OSL dating in central and southern France. *Global and Planetary change*. 162, 84-100. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2018.01.012>
- Baize, D., Girard, M.-C. (dir), 2009. *Référentiel pédologique*, Association française pour l'étude du sol, Éditions Quae, Versailles, 435 p.
- Baize, D., 2016. *Petit Lexique de Pédologie*, Inra, Orléans, 271 p.
- Baize, S., Coulon, M., Hibschi, C., Cushing, M., Lemeille, F., Hamard, E., 2007. Non tectonic deformations of Pleistocene sediments in the eastern Paris basin, France. *Bulletin de la Société géologique française*. 178 (5), 367-381. <https://doi.org/10.2113/GSSGFBULL.178.5.367>
- Baillif, J.-L., Guérin H., Muller, J.-C., 1995. *Éléments d'agronomie champenoise, connaissance des sols et de leur fonctionnement : rendzines sur craie et sols associés, esquisse géomorphopédologique*, Inra, Orléans, 104 p.

- Bertran, P., Andrieux, E., Bateman, M., Font, M., Manchuel, K., Sicilia, D., 2018. Features caused by ground ice growth and decay in the Late Pleistocene fluvial deposits, Paris Basin, France. *Geomorphology*. 310, 84-101. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.03.011>
- Boulen, M., Fechner, K., Loicq, S., Zech-Matterne, V., 2012. Environnement et exploitation des sols autour des sites protohistoriques champenois. Première confrontation des résultats archéobotaniques, malacologiques et pédologiques, in : Schönfelder, M., Sievers, S. (dir.), *L'Âge du Fer entre la Champagne et la vallée du Rhin. 34^e colloque international de l'Association Française pour l'Étude de l'âge du Fer*, AFEAF, Aschaffenburg, 41-76.
- Caillier, M., 1999. *Genèse et classification des sols*, Département des sols et de génie agroalimentaire, Université Laval, Québec, n.p.
- Canet, S., 2021. *Un chemin vicinal disparu et des indices de fréquentation de l'époque contemporaine : Premierfait, Aube*, « Les Épinettes » Grand Est, rapport de diagnostic, Inrap Grand Est, 76 p.
- Dotterweich, M., 2008. The history of soil erosion and fluvial deposits in small catchments of central Europe : deciphering the long-term interaction between humans and the environment – a review. *Geomorphology*. 101, 192-208. <https://doi.org/10.1016/J.GEOMORPH.2008.05.023>
- Dotterweich, M., 2012. Past soil erosion in Central Europe : human impact and long term effect. *eTopoi Journal for Ancient Studies*. 3, 39-45.
- Duchaufour, P., 1995. *Pédologie, sol, végétation, environnement*, Masson, Paris, 324 p.
- Dylik, J., Rybezynska E., 1964. Le thermokarst, phénomène négligé dans les études du Pléistocène. *Annales de Géographie*. 73 (399), 513-523. <https://doi.org/10.3406/geo.1964.16692>
- Fechner, K., Decocq, O., Deligne, F., 2005. Étude des sols noirs des fonds de vallées de Bussy-Lettrée, in : Lagatie, C., Vanmorkerke, J. (dir.), *Europort Vatry, les pistes de l'archéologie*, Éditions Dominique Guéniot, Langres, 85-88.
- Fechner, K., Slachmuylder, J.-L., 2009. Les sols noirs anthropiques sur le tracé du TGV Est : compréhension pédologique et malacologique, approche statistique et essai d'interprétation archéologique. *Bulletin de la Société Archéologique Champenoise*. 102 (2), 335-361.
- Fechner, K., Baes, R., Louwagie, G., Gebhardt, A., 2014. Relic Holocene colluvial and alluvial depositions in the basins of the Scheldt, the Meuse, the Somme, the Seine and the Rhine (Belgium, Luxemburg and Northern France). A prospective state of research in rescue excavations », in : Meylemans, E., Poesen, J., In't Ven I. (dir.), *The Archaeology of Erosion, the Erosion of Archaeology*, Relicta Monofraffieën, Brussels, 147-190.
- Gagnard, J., Huguet, C., Ryser, J.-P., 1988. *L'analyse du sol et du végétal dans la conduite de la fertilisation*, Association de Coordination Technique Agricole, Paris, 87 p.
- Gangloff, P., 1973. Le milieu morphoclimatique tardiglaciaire dans la région de Montréal. *Cahiers de géographie du Québec*. 17 (42), 415-448. <https://doi.org/10.7202/021146ar>
- Garnier E., 2004. *Terre de conquête. La forêt vosgienne sous l'ancien Régime*, Fayard, Paris, 620 p.
- Gebhardt, A., Occhietti, S., Fechner, K., 2014. Grandes phases de pédogenèse, d'érosion et d'anthropisation des sols au cours de la seconde moitié de l'Holocène en Lorraine (France). *Archéosciences, revue d'archéométrie*. 38, 7-29. <https://doi.org/10.4000/archeosciences.4113>
- Godard, C., 2020. *Vestiges de la voie antique Reims/Châlons-en-Champagne : Beaumont-sur-Vesle, Marne « Les Champs du Gré » Grand Est*, rapport de diagnostic, Inrap Grand Est, 127 p.
- Gonnet, A., 2017. *Du plateau au fond de vallée : apport de l'étude de trois sites archéologiques à la compréhension des dynamiques géomorphologiques holocènes en Normandie*, thèse de doctorat, Université de Rouen Normandie, 480 p.
- Gonnet, A., 2019. Étude géomorphologique, in Chauvin, S., *Fosse de chasse, fosse du Hallstatt C1 : Les Grandes-Chapelles, Aube, « la Taverne »*, Grand Est, rapport de diagnostic Inrap, 68 p.
- Gonnet, A., Cammas, C., Coupard, F., 2021. Interactions Homme/Environnement depuis le Néolithique : impacts anthropiques sur la morphogenèse colluviale en contexte de pied de versant à Mareuil-le-Port (Grand Est, Marne). *Quaternaire*. 32 (2), 111-122. <https://doi.org/10.4000/quaternaire.15800>

- Gonnet, A., Boulen M., Rabasté Y., 2025. Des chenaux holocènes sous l'occupation antique : potentiel paléoenvironnemental d'un site archéologique en bordure de la Vesle à Reims, rue du Colonel Fabien (Marne). *Quaternaire*. 36 (1), 27-55.
- Granai, S., 2021. Récentes investigations malacologiques Holocènes en Champagne (France) : repères malacostratigraphiques, remarques biogéographiques et anthropisation des versants. *Quaternaire*. 32 (1), 11-27.
- Granai, S., Laurelut, C., Gonnet, A., Fichet, V., 2024. Palaeoenvironmental reconstruction of poorly stratified sites using malacological assemblages of archaeological features: a case study in Reims (NE France). *Journal of Archaeological Science: Reports*. 56, 104-576. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2024.104576>
- Jamagne, M., 2011. *Grands paysages pédologiques de France*, Editions Quae, Versailles, 535 p.
- Kalis, A.J., Merkt, J., Wunderlich, J., 2003. Environmental changes during the Holocene climatic optimum in central Europe: human impact and natural causes. *Quaternary Science Reviews*. 22, 33-79. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(02\)00181-6](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(02)00181-6)
- Kasprzyk, M., 2024. *Lavau, l'Étang. Fosses de chasse préhistoriques, établissements ruraux de l'époque romaine et du Moyen Âge, vestiges du Grand chemin de Troyes à Châlons*, rapport de fouille archéologique, Inrap Grand Est, Metz.
- Laurain, M., Guerin, H., Marre, A., Richard, J., 1995. Processus génétiques à l'origine des formations de pente à graviers de craie en Champagne. *Permafrost and Periglacial Processes*. 6, 103-108. <https://doi.org/10.1002/ppp.3430060207>
- Lespez, L., 2012. *Paysages et gestion de l'eau, sept millénaires d'histoire de vallées et de plaines littorales en Basse-Normandie*, Presses universitaires de Caen (Supplément Enquêtes rurales, Bibliothèque du pôle rural, 3), Caen, 336 p.
- Lozet, J., Mathieu, C., 2002. *Dictionnaire de sciences du sol*, Éditions Tech & Doc, Paris, Lavoisier, 575 p.
- Mathieu, C., Pomerol, C., 1976. Caractères, origine, mise en place et rôle morphologique des grèzes crayeuses de Champagne sèche au nord de Reims. *Bulletin de l'Association française pour l'étude du Quaternaire*. 13 (1), 45-51. <https://doi.org/10.3406/quate.1976.1275>
- Michel, J.-P., 1973. Le Quaternaire de la région parisienne. *Bulletin de l'Association française pour l'étude du Quaternaire*. 10 (1), 31-45. <https://doi.org/10.3406/quate.1973.1216>
- Neboit-Guilhot, R., 1999. Autour du concept d'érosion accélérée : l'Homme, le temps et la morphogénèse. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*. 2, 159-172. <https://doi.org/10.3406/morfo.1999.985>
- Neboit-Guilhot, R., 2010. *L'Homme et l'érosion, l'érosion des sols dans le monde*, Faculté des Lettres de Clermont-Ferrand (Publication de la Faculté des Lettres de Clermont-Ferrand, 34), Clermont-Ferrand, 269 p.
- Pastre, J.-F., Leroyer, C., Limondin-Lozouet, N., Orth, P., Chaussé, C., Fontugne, M., Gauthier, A., Kunesch S., Lejuen, Y., Saad, M.-C., 2020. Variations paléoenvironnementales et paléohydrologiques durant les 15 derniers millénaires : les réponses morphosédimentaires des vallées du Bassin parisien (France), in : Bravard, J.-P., Magny, M., (éd.), *Les fleuves ont une histoire. Paléoenvironnement des rivières et des lacs français depuis 15 000 ans*, Errance, Paris, 29-44.
- Pastre, J.-F., Limondin-Lozouet, N., Leroyer, C., Ponel, P., Fontugne M., 2003. River system evolution and environmental changes during the Lateglacial in the Paris Basin (France). *Quaternary Science Reviews*. 22 (20), 2177-2188. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(03\)00147-1](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(03)00147-1)
- Petit, C., Brenot, J., Fechner, K., Binois, A.-L., Granai, S., Siquin, J.-B., Vanmorkerke, J., sous presse. À l'heure où blanchit la campagne : les indicateurs archéopédologiques de la dynamique de l'érosion des rendzines de Champagne. *Archeologie, Société, Environnement*. 5.
- Ponge, J.-F., 2003. Humus forms in terrestrial ecosystems: a framework to biodiversity. *Soil Biology and Biochemistry*. 37, 1048-1060. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(03\)00149-4](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(03)00149-4)
- Riquier, V., 2020. *Les systèmes de fosses profondes à la Pré- et Protohistoire : cartographie des fosses cylindriques et des Schlitzgruben à l'échelle nationale. Rapport 2019, Projet d'Action scientifique*, Inrap, Saint-Martin-sur-le-Pré.
- Riquier, V., 2021. Un village du Bronze final au beau milieu de la Champagne : Faux-Fresnay (Marne). *Bulletin de l'Association pour la Promotion des Recherches sur l'Âge du Bronze*. 19, 129-135.

- Séguin, M., Allard, M., 1984. Le pergélisol et les processus thermokarstiques de la région de la rivière Nastapoca, Nouveau-Québec. *Géographie physique et Quaternaire*. 38 (1), 11-25. <https://doi.org/10.7202/032532ar>
- Strahler, A.N., 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transaction of the American Geophysical Union*. 38 (6), 913-920. <https://doi.org/10.1029/TR038i006p00913>
- Thiemeyer, H., Blümel, W.D., Dambeck, R., Dieckmann, B., Eberle, J., Glade, T., Hecht, S., Houben, P., Moldenhauer, K.-M., Schrott, L., Schulte, A., Vogt, R., Wunderlich, J., 2005. Soils, sediments and slope processes and their effects on sediment fluxes into the river Rhine. *Erdkunde*. 59, 184-198. <https://doi.org/10.3112/erdkunde.2005.03.02>
- Van Vliet-Lanoë, B., Baize, S., Cojan, I., Brulhet, J., Hibsich, C., 2013. Activité thermokarstique quaternaire dans l'Est du Bassin de Paris, comparaison avec l'Arctique actuel. 14^e Congrès français de Sédimentologie, communication orale, Paris, 402.
- Van Vliet-Lanoë, B., Bruhlet, J., Combes, P., Duvail, C., Ego, F., Baize, S., Cojan, I., 2016. Quaternary thermokarst and thermal erosion features in northern France: origin and palaeoenvironments. *Boreas*. 46 (3), 442-461. <https://doi.org/10.1111/bor.12221>
- Van Vliet-Lanoë, B., Pissart, A., Baize, S., Brulhet, J., Ego F., 2018. Evidence of multiple thermokarst events in northeastern France and southern Belgium during the two last glaciations. A discussion on "Features caused by ground ice growth and decay in Late Pleistocene fluvial deposits, Paris basin, France" (Bertran *et al.* 2018). *Geomorphology*. 327, 613-628. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.08.036>
- Verstraeten, G., Lang, A., Houben, P., 2009a. Human impact on sediment dynamics – quantification and timing. *Catena*. 77, 77-80. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2009.01.005>
- Verstraeten, G., Rommens, T., Peeters, I., Poesen, J., Govers, G., Lang, A., 2009a. A temporarily changing Holocene sediment budget for a loess-covered catchment (central Belgium). *Geomorphology*. 108, 24-34. <https://doi.org/10.1016/J.GEOMORPH.2007.03.022>