

L'horizon « B sombre » ou « B dark » : un horizon pédologique relique sur loess du début du Tardiglaciaire (nord de la France, Belgique)

The “B sombre” or “B dark” horizon: a relict soil horizon on loess from the early Tardiglacial period (northern France, Belgium)

Fechner K.¹, Deschodt L.², Broes F.³, Adam P.⁴, Bailly L.⁵, Chevalier A.⁵, De Clercq C.⁶, Langohr R.⁷, Louwagie G.⁸, Schaeffer Ph.⁹, Van Vliet-Lanoë B.¹⁰

¹ INRAP Hauts-de-France, UMR 7041 ARSCAN (équipe Archéologies environnementales), associé à l'UMR 7362 LIVE (équipe Dynamique des paysages), kai.fechner@inrap.fr

² INRAP Hauts-de-France, UMR 8591, Laboratoire de Géographie physique, laurent.deschodt@inrap.fr

³ INRAP Hauts-de-France, frederic.broes@inrap.fr

⁴ Institut de chimie, Université de Strasbourg, UMR 7177, padam@unistra.fr

⁵ Institut royal des sciences naturelles de Belgique/ Micro-fossils, achevalier@naturalsciences.be

⁶ INRAP Hauts-de-France, Clara.declercq@inrap.fr

⁷ Professeur honoraire, Department of Geology and Soil Science, Lab. Soil Science, Univ. Ghent, roger.langohr@skynet.be

⁸ Rural Development/Food Security at European Commission's DG DEVCO (anciennement: Lab. Soil Science, Univ. Ghent), geertrui.louwagie@gmail.com

⁹ Institut de chimie, Université de Strasbourg, UMR 7177, p.schaef@unistra.fr

¹⁰ Géosciences Ocean, université de Brest, brigitte.lanoë4@gmail.com

RÉSUMÉ. Dans le nord de la France et en Belgique, un horizon sombre et enrichi en matière organique est parfois identifié au sein des profils de sols loessiques. Il est positionné entre les horizons appauvris en argile (E) et enrichis en argile (Bt). Il est discontinu et est conservé surtout dans des points bas de la topographie, en contexte plus ou moins bien drainé. Il est interprété comme le reliquat d'un horizon humifère plus épais développé dans les loess calcaires au début du Tardiglaciaire, formant le sommet d'un sol de type chernozem ou apparenté, antérieur à la décarbonatation des dépôts loessiques et la migration d'argile. Le « B sombre » est toujours dissociée des premiers dépôts de fonds de vallée du début du Bølling. Nous posons l'hypothèse d'une formation contemporaine de ceux-ci. Elle daterait du Bølling, voire du Dryas Ancien, sa formation serait concomitante à la première phase de décarbonatation des derniers dépôts loessiques alors sous couverture végétale steppique.

ABSTRACT. In northern France and Belgium, a dark horizon enriched in organic matter is occasionally found within already well-known horizons developed on loess already attested, straddling the depleted and clay-enriched horizons. Discontinuous, preserved mainly at the lower points of the landscape, but in more or less well-drained conditions, it is interpreted as the local, basal, relic of a thicker humus horizon developed on calcareous loess at the beginning of the Tardiglacial period, forming a chernozem-type soil or similar, before decarbonation and clay migration. As it is always dissociated from the first valley-bottom deposits of the early Bølling period, we propose the hypothesis of a soil formed at the same time as these deposits, or even as early as the Oldest Dryas, before and/or during of the first decarbonation of the last loess deposits under a steppic vegetation cover.

MOTS-CLÉS. Loess, Chernozem, Luvisol, pédogenèse, archéologie, paléoclimat, matière organique, migration d'argile, décarbonatation, fin du Pléistocène, Tardiglaciaire, Bølling, Dryas ancien, micromorphologie, phytolithes, chimie minérale, biochimie moléculaire, granulométrie.

KEYWORDS. Loess, Tchernozem, Luvisol, pedogenesis, archaeology, palaeoclimate, organic matter, clay migration, decarbonation, late Pleistocene, Tardiglacial, Bølling, Early Dryas, micromorphology, phytoliths, mineral chemistry, molecular biochemistry, granulometry.

1. Introduction

L'horizon pédologique qui fait l'objet de cette étude est généralement peu épais (typiquement 0,2 m). Il forme le sommet de l'horizon d'accumulation d'argile « Bt » de certains profils de sols lœssiques (**figure 1**) du Nord de la France, de Moyenne Belgique et, plus rarement, dans l'Aisne et en Champagne (**tableau 1, figures 2-3**). Nos nombreuses observations montrent qu'il se situe généralement dans les mêmes contextes géomorphologiques et qu'il présente des caractéristiques litho- et pédostratigraphiques communes. Ceci permet d'en proposer une définition et une étude. Sa couleur brune à gris-noire est plus sombre que les horizons sus- et sous-jacents : il peut être qualifié de « sombre » ou « dark ». Il a déjà été utilisé ponctuellement comme repère stratigraphique dans les études de sites archéologiques des régions concernées (**tableau 1**). Par contre, il n'a pas encore fait l'objet d'une description précise dans la littérature pédologique. Discontinu, proche de la surface, soumis à l'érosion, polyphasé, facilement confondu avec un horizon riche en manganèse ou un paléo-horizon de surface humifère de l'Holocène, son existence même a pu être discutée. Nous essayons ici, à travers plusieurs exemples accompagnés de quelques analyses (granulométrie, micromorphologie, analyses chimiques...), de le caractériser et de proposer une hypothèse quant à sa genèse et son âge.

Site	Département-province, Pays	Référence	Pédo-région selon Fechner <i>et al.</i> 2014 / Fechner & Deflorenne, coord. 2023
Annœullin	Pas-de-Calais, France	Louwagie & Langohr 2000	Nord-Pas-de-Calais
Huissignies	Province de Hainaut, Belgique	Fechner & Scharz 2000 ; Fechner 2021	Moyenne Belgique limoneuse
Oleye	Province de Liège, Belgique	Fechner 1997	Moyenne Belgique limoneuse
Hannut/ Cras-Avernas	Province de Liège, Belgique	Fechner 2000	Moyenne Belgique limoneuse
Marcq-lez-Enghien	Province de Hainaut, Belgique	Fechner 2005	Moyenne Belgique limoneuse
Remicourt	Province de Liège, Belgique	Fechner <i>et al.</i> 2006	Moyenne Belgique limoneuse
Moyencourt	Somme, France	Broes 2013	Somme sauf thalweg de la Somme
Verquin	Pas-de-Calais, France	Fechner 2017	Nord-Pas-de-Calais
Hannut	Province de Liège, Belgique	Collette & Goffioul 2014	Moyenne Belgique limoneuse
Saint-Quentin	Aisne, France	Fechner <i>et al.</i> 2015	Tardenois et Aisne
Aougny	Marne, France	Fechner <i>et al.</i> 2008 ; Fechner 2021	Montagne de Reims et Tardenois
Penly	Haute-Normandie, France	Fechner 2019 ; Barbet en préparation	Ile-de-France-Normandie

Tableau 1. Quelques-uns des sites mentionnant l'horizon « B sombre » dans la littérature (non-exhaustif), repris dans un corpus plus large de 35 sites.



Figure 1. Détail de l'horizon B sombre et relation avec l'horizon surface holocène recoupé par un fossé du Néolithique à Carvin « Rue du Château » (photo K. Fechner, voir aussi fig. 5).

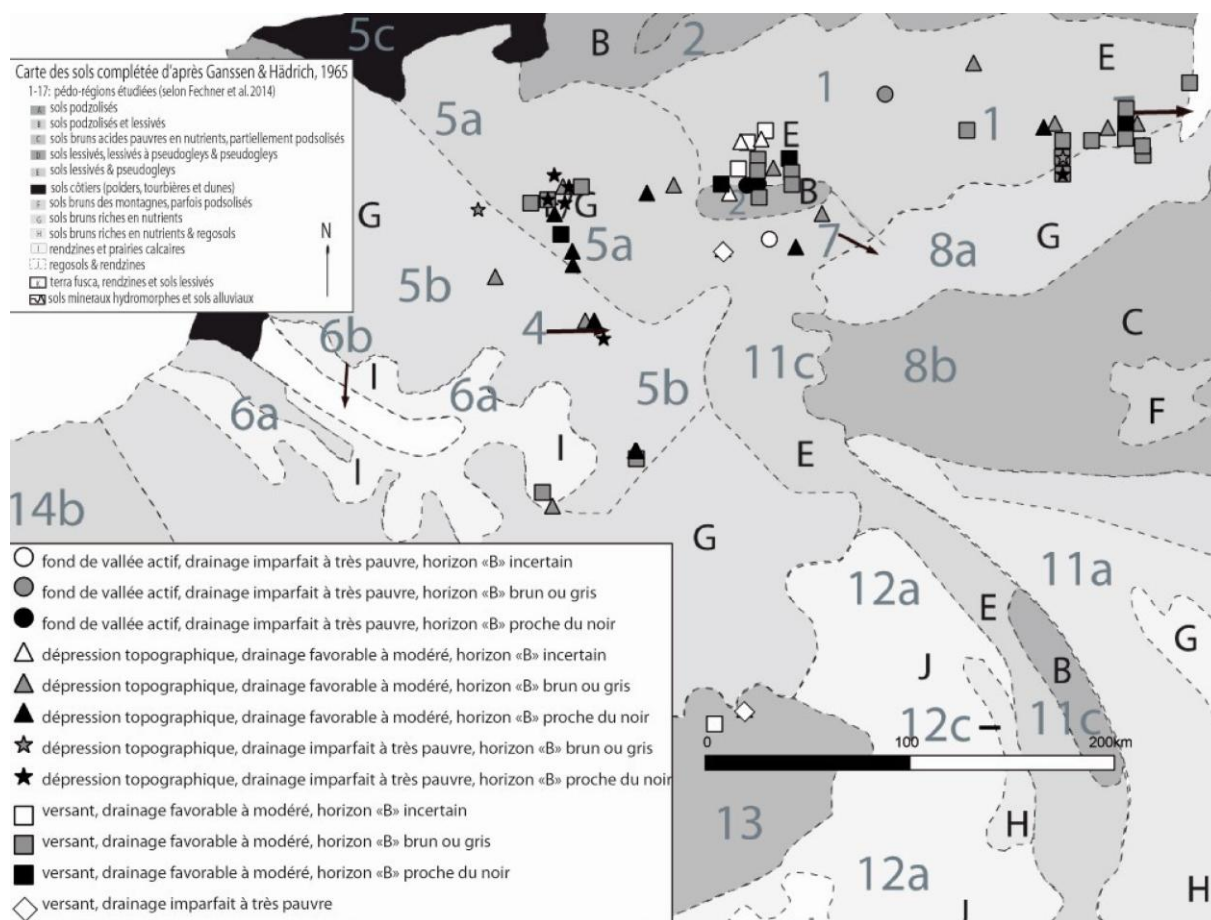


Figure 2. Carte des horizons de type « B sombre » caractéristiques identifiés.

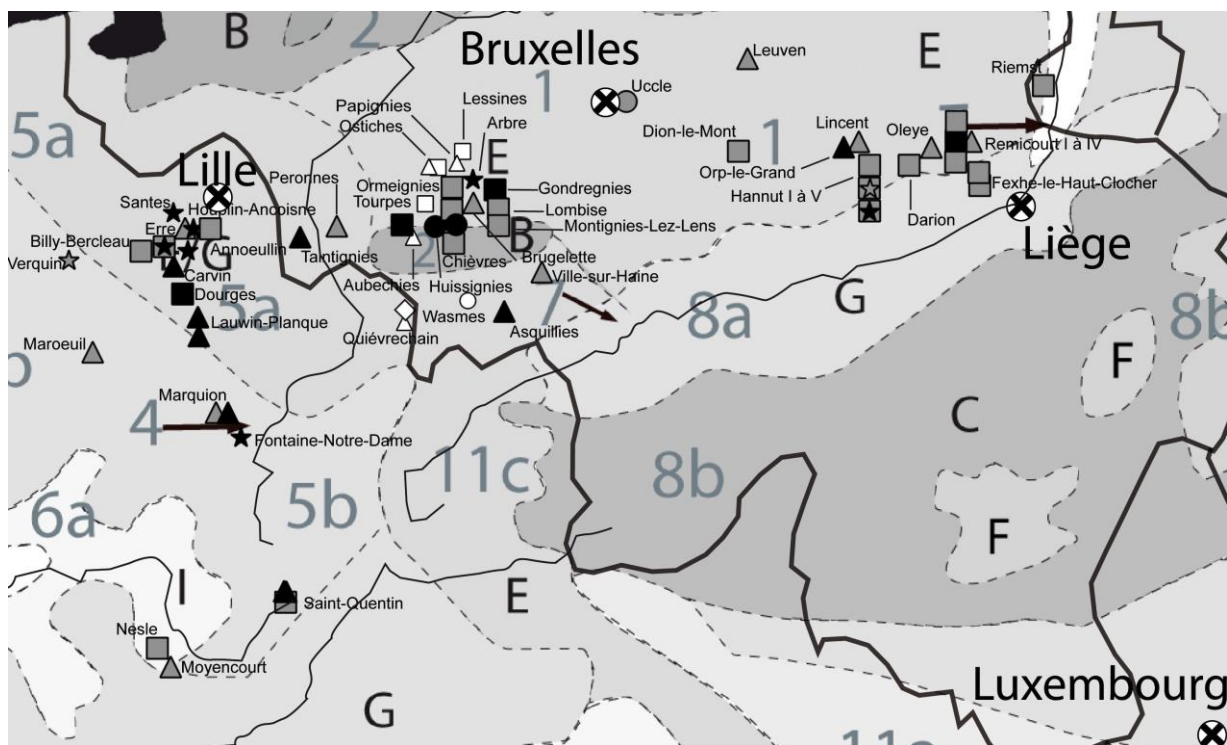


Figure 3. Détail de la zone la plus dense en attestations des horizons de type « B sombre » confirmés.

2. Caractérisation

2.1. Le corpus

2.2.1. Répartition géographique

La présence de l'horizon « B sombre » a été mise en évidence par des observations systématiques de coupes pédologiques au cours d'opérations archéologiques dans le nord de la France et en Belgique (**tableau 1, figures 2-3**). Certains relevés ont donné lieu à des analyses complémentaires (granulométrie, chimie, micromorphologie...), certains sont déjà mentionnés en tant que « B sombre » ou « B dark » dans des publications antérieures (**tableau 1**). La cartographie des observations de l'horizon « B sombre » montre de nombreuses occurrences dans la vallée de la Deûle (département du Nord), dans le centre du Hainaut belge (province de Hainaut) et en Hesbaye liégeoise (province de Liège). Plus largement, il est observé de manière certaine et répétée depuis les sources de la Somme à la Meuse liégeoise et, ponctuellement vers le sud dans l'Aisne et dans la Marne (Fechner, 1997 ; Louwagie & Langohr, 2000 ; Praud, 2004 ; Feray, 2005 ; Monchablon *et al.*, 2011 ; Martial & Praud, 2007 ; Broes, 2013 ; Collette & Goffioul, 2015 ; Monchablon *dir.*, 2015 ; Praud *dir.*, 2015 ; Leroy-Langelin *dir.*, 2015 ; Fechner *et al.*, 2015 ; Fechner, 2017 ; Fechner, 2021 ; Martial *dir.*, en préparation). Il est rarement attesté en Haute-Normandie (sites de Penly : Fechner, 2019 ; Barbet *dir.*, en préparation : sd. 214) ; en revanche, il n'a pas été reconnu en Île-de-France, même sur limons lœssiques décarbonatés et ce malgré le grand nombre de sites analysés.

2.2.2. Recensement et comparaison avec la carte des sols du nord de la France et de la Belgique

Nos observations peuvent être reportées sur la carte simplifiée des sols (**figures 2-3**) : il est reconnu dans trois des grandes pédo-régions définies par Fechner *et al.* (2014) et Fechner & Deflorenne (*coord.*, 2023) :

- la pédo-région 1 (Moyenne Belgique lœssique), dominée par les sols lessivés et les pseudo-gleys ;

– la pédo-région 5A (Nord-Pas-de-Calais, en partie sur loess, à l’exception notamment de la plaine côtière), comprenant l’association locale des sols précédents avec des sols bruns riches en nutriments (symbole « E/G » de [Ganssen & Hädrich, 1965](#)) ;

– la pédo-région 5B (Somme, partie sur loess, à l’exception du thalweg de ce fleuve), où les sols bruns riches en nutriments (symbole « G » de [Ganssen & Hädrich, 1965](#)) dominent les sols bruns lessivés et pseudo-gleys.

Au sein de ces régions, les observations de terrain montrant la présence d’horizons de type « B sombre » sont faites uniquement sur des profils pédologiques réalisés dans des luvisols développés aux dépens de limons décarbonatés sur plus d’un mètre de profondeur, ayant connu un lessivage des argiles formant un horizon « B_t » bien marqué. L’horizon argilique, « B_t », typique des luvisols, y est bien développé, c’est-à-dire épais, orangé et plus argileux que les horizons sus- et sous-jacents.

Il peut arriver qu’il soit absent dans une situation attendue de préservation comme dans une tête de vallon *a priori* favorable. C’est le cas révélateur, du site de Rebecq « Spinoi » (Brabant wallon, Belgique) situé dans une ancienne tête de vallon sec, à la séquence enfouie sous une surface occupée au Mésolithique ancien. Ici l’horizon « B_t » est réparti sur deux niveaux séparés par une troncature ([Fechner *et al.*, 2010](#)) qui explique l’absence de l’horizon « B sombre » ; le sommet du loess a été érodé puis colluvionné avant la formation complète de l’horizon « B_t », expliquant la répartition de l’accumulation de l’argile migrée sur deux dépôts successifs¹.

Ailleurs, les zones et régions où l’horizon « B_t » est formé dans une faible épaisseur de loess décarbonatés, l’horizon « B sombre » n’a pas été reconnu. Ce dernier ne s’est pas développé ou n’a pas été préservé. Entre autres nombreux exemples, on peut citer les sites de Nogent-sur-Seine (Aube : [Fechner *et al.*, 2019](#) ; [Fechner, 2021](#) ; [Godard *et al.*, accepté](#)), Ribemont-sur-Ancre (Somme : [Fechner *et al.*, 2004](#)) ou Lieusaint (Seine-et-Marne : [Durand *et al.*, 2008, 2014](#)). Il en est de même dans les limons fertiles d’un point de vue chimique, souvent liés à des reprises éoliennes d’alluvions locales (par ex. Remerschen, Gutland, Grand-duché de Luxembourg : [Fechner & Langohr, 1994](#)).

2.2.3. Caractéristiques des zones de plus forte densité d’occurrences

Dans le nord de la France, l’horizon « B sombre » est fréquemment rencontré dans les profils montrant la présence en profondeur d’un loess carbonaté enrichi en carbonates secondaires (au moins 15 % de calcaire total). Il surmonte un substrat crayeux et est parfois marqué par des inclusions de graviers de craie.

À noter que la concentration en carbonates peut devenir encore plus importante en fond de vallée dans le cas de remaniement alluvial du loess au cours du Pléniglaciaire supérieur (région de Lille : [Deschodt *et al.*, 2004, 2006](#) ; [Deschodt, 2014, 2019](#)).

Ces profils sont localisés sur des versants à faible, voire très faible pente (inférieure à un pour mille, en pied de versant oriental du Pays de Weppes, dans la région de Lille) et localement dans des fonds de vallée à la topographie peu contrastée, sans drainage clairement organisé, hérités des dépôts fluvio-éoliens du Pléniglaciaire supérieur (par exemple aux environs de Carvin et de Dourges dans la vallée de la Deûle). Dans tous ces contextes morpho-pédologiques, le drainage est peu efficace, favorisant la stagnation d’eau.

Dans la partie occidentale de Moyenne Belgique, du Hainaut belge au Brabant, les profils permettant l’observation d’un horizon « B sombre » montrent également des loess très profondément

¹ Dans la partie inférieure, l’enrichissement en argile est limité (19 % au lieu des 21 à 26 % habituels), correspondant à une première phase d’enrichissement en argile, inachevée.

décarbonatés (le loess calcaire y apparaît entre 1,7 et 3,5 m de profondeur selon les situations topographiques). L'horizon « B sombre » est présent de façon récurrente dans des vallons secs et dans des zones de (micro-)dépression, le plus souvent comblées ensuite de colluvions. Sur les versants et les plateaux, de nombreux lambeaux sont présents dans des chablis (tracé de gazoduc Flobecq-Quévy, Collet *et al.*, 2017). Il est repéré également dans des remplissages de fosses, notamment celles d'habitats du Néolithique ancien sur plateaux et de versants où des fragments de l'horizon « B sombre » sont souvent associés à des fissures décolorées caractéristiques de cet horizon (**figure 1**). C'est notamment le cas de fosses d'Ormeignies « Pilori » (Province de Hainaut, Laurent *et al.*, 2012 ; Fechner, 2012, 2021).

Toujours en Moyenne Belgique, mais plus à l'est, la Hesbaye liégeoise présente un contexte pédologique très semblable à ceux du Hainaut et du Brabant ; ici, le « B sombre » est observé de façon presque systématique dans les vallons secs et est bien reconnaissable en position secondaire dans certains remplissages de structures archéologiques (par ex. fosses du Néolithique ancien de Waremmes « Vinâve », Fechner, 1998 ; Fechner & Langohr, 1998).

2.3. Position topographique et extension

Dans le corpus recensé, l'horizon « B sombre » est observé sur de faibles superficies (quelques dizaines ou centaines de m² au maximum) en relation avec une microtopographie de dépression (*cf. infra* : **figure 16** ; talwegs, vallons secs) ou en contexte de versant ou de plateau. Un cas représentatif est celui de Fontaine-Notre-Dame (*cf. infra* : **figures 9 et 19**) : en bas de versant, à proximité du fond de vallée de l'Escaut, le décapage archéologique a révélé un paléotalweg dont la partie amont est érodée et la partie aval colmatée par des colluvions qui scellent cet horizon noirâtre (Michel, 2004). Dans la grande majorité des cas, la zone est naturellement drainée (drainage efficace ou au moins modéré). Seul un cas est répertorié dans un fond de vallée actif : il s'agit d'Huissignies « Goulouf » (Province de Hainaut, Belgique), mais il est proche de la tête de vallon et donc en bordure de l'aire drainée. La répartition entre versants et plateaux est à peu près égale. Il ne peut pas être exclu que le léger surnombre des cas observés sur versants où cet horizon est repéré dans le Hainaut et la Hesbaye liégeoise soit dû à un état de la recherche. On constate que les points bas où est conservé l'horizon peuvent parfois aussi présenter l'horizon E sus-jacent et que cet horizon est tronqué par l'érosion en remontant la pente, avant que ne disparaissent, plus en amont, l'horizon « B sombre », puis le sommet de l'horizon « B_t ».

L'extension originelle de l'horizon « B sombre » a pu être plus importante sur au moins une partie des versants et plateaux ; sa présence actuelle peut s'expliquer par une conservation différentielle dans des conditions topographiques particulières et locales. Sa faible extension et sa position topographique atypique expliquent l'absence de mentions hors opérations archéologiques. À titre d'exemple, dans l'ensemble des sondages de l'opération de Penly, seul le sondage 214 (Fechner, 2019 ; Barbet, en préparation) recoupe cet horizon, ce qui explique que le profil de référence de départ retenu par G. Jamet (Barbet, en préparation) ne le mentionne pas.

La conservation limitée à certains contextes ne reflète pas l'extension originelle de l'horizon, probablement plus étendue, sur une partie au moins des versants et les plateaux.

2.4. Position litho-, pédo- et chronostratigraphique

2.4.1. Lithologie de la roche mère

L'horizon « B sombre » est exclusivement associé à un contexte lœssique. Il se situe systématiquement au sommet des dépôts de loess de la fin du Pléniglaciaire supérieur weichselien (loess brabantiens) (Haesaerts, 1984, 1985 ; Haesaerts *et al.*, 1997, 2016 ; Langohr, 2001 ; Antoine *et al.*, 2016).

2.4.2. Pédostatigraphie

L'horizon « B sombre » est systématiquement observé au sommet de l'horizon argilique « B_t » d'un Luvisol, formé par accumulation d'argile lors du lessivage, et en dessous de l'horizon « E » d'un luvisol, formé par l'appauvrissement en argile lors du même processus (**figures 1, 4-7**). Il présente la texture et la densité de l'horizon « B_t », mais s'en distingue par la couleur. Il se distingue également nettement de l'horizon « E »² et de l'éventuel horizon de surface enterrée (« A_{1b} ») qui peut le surmonter dans les cas de bonne préservation (**figures 6, 8-10**) par son taux d'argile.

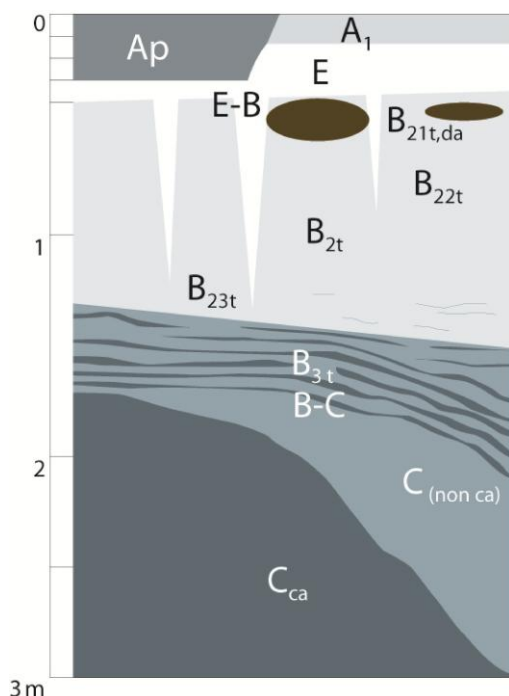


Figure 4. Schéma montrant la position litho- et pédostatigraphique telle que rencontrée lors de la découverte actuelle d'un horizon « B sombre » (dessin K. Fechner).

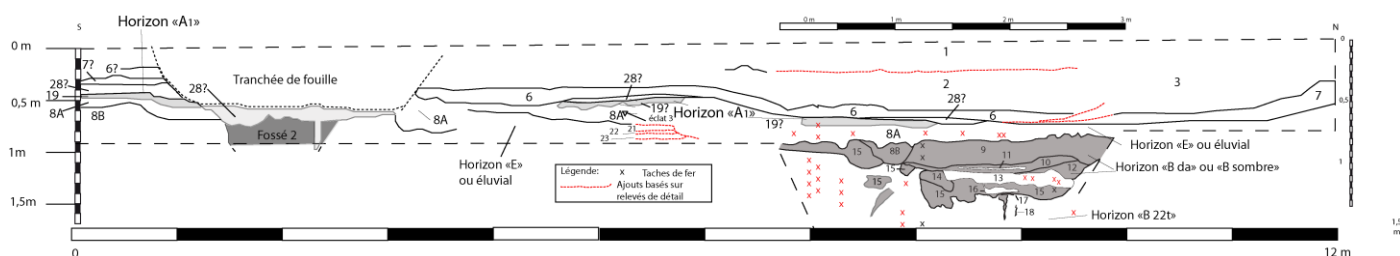


Figure 5. Partie de la coupe 7 de Carvin « rue du Château » relevée en détail (relevé K. Fechner, voir aussi figures 1 et 6). 1. Remblais actuels ; 2. Labours (sub) actuels, à base abrupte et horizontale ; 3. Comblement supérieur du sondage de diagnostic ; 4. Comblement inférieur sombre du sondage de diagnostic ; 5. Limon gris-bleu foncé (lessivage du fer associé à une partie du fond du sondage) ; 6. Colluvions brun-beiges à terres cuites des époques historiques, voire très récente (post-néolithique), recoupant 7, base ondulante au niveau de son contact avec 19 ; 7. Sans-doute l'équivalent de H19 et/ou H28 ; 8A. Couche blanc cassé, taches de fer dans les trois-quatre inférieurs (horizon « E » particulièrement bien exprimé, donc plus clair, sans-doute l'équivalent de H20 d'après position stratigraphique et couleur, mais moins épais que 8A) ; 8B. Horizon gris brun localement plus clair, lessivé (transition E-horizon - « B sombre ») ; 9. Horizon gris foncé avec taches claires plus ou moins verticales et taches de fer (horizon « B sombre ») ; 10. Horizon gris clair légèrement brunâtre ; 11. Ligne blanche discontinue dans le sommet de 10 ; 12. Horizon noirâtre dans la poche supérieure, parfois gris foncé ailleurs ; 13. Horizon beige à jaune avec taches orangées de fer ; 14. Horizon gris plus ou moins foncé, hétérogène, rappelant plus ou moins certaines des parties de 12 ; 15. Horizon noirâtre (rappelant 12), à l'exception de boules beiges à jaunes de 3-6 cm de diamètre ; 16. Horizon beige, plus ou moins hétérogène ; 17. Ligne noirâtre de 2 mm d'épaisseur, sur 10-18 cm de longueur ; 18. Fissures

² Horizon appauvri en argile par lessivage, coloration plus claire : brun beige voire gris très clair, plus meuble et moins dense.

noirâtres fines ; 19. Fine couche grise homogène, légèrement plus sombre que l'horizon « E » selon les endroits avec ou directement sur artefacts, à savoir un éclat et un tesson = objet 12, ancien horizon humifère formé au sommet de celui-ci et/ou reprise colluviale de cet horizon, rappelant celui de Houplin-Ancoisne « Marais de Santes » (Praud, 2007) ; 20. Horizon gris clair passant latéralement à 8A et rappelant l'horizon « E », difficile à en distinguer et parfois une reprise de celui-ci ; 21-23. Dépôts stratifiés fins, en trois couches principales, dont 22 et 23 gris clairs ; 24-27. Couches situées en dehors de cette section ; 28. Couche de 1-2 cm blanc cassé rappelant 8A, situé dans la partie orientale de la coupe, au-dessus de 19 (reprise colluviale de 8A).

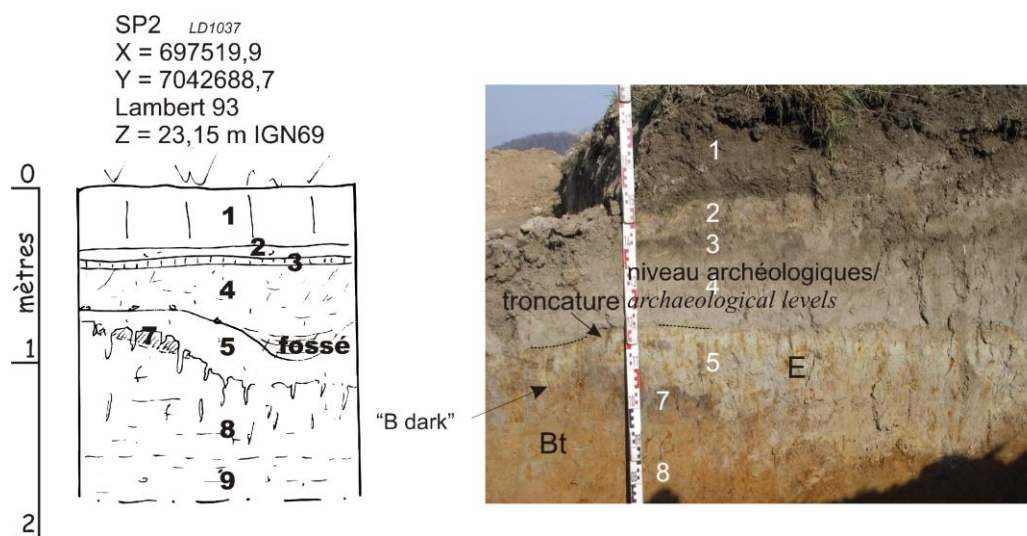


Figure 6. À Carvin « Rue du Château », dans la vallée le fond de vallée de la Deûle, la topographie du loess est confuse et héritée du Pléni-glaciaire, l'horizon « B sombre » a été observé ponctuellement dans des micro-dépressions, de manière fugace, sous les horizons « E » et « A₁ », tronqués par l'activité humaine. Le dessin correspond au LOG SP2 (relevé et photographie L. Deschodt). 1. Horizon humifère, labour ; 2. Limon gris/rouille, un peu argileux, éléments anthropiques divers, remblais probable ; 3. Horizon sombre un peu argileux ; 4. Limon gris poudreux, un peu plus sombre en partie supérieure, rares charbons, quelques éléments archéologiques (tessons gallo-romains) posés à la limite inférieure avec 6, latéralement la limite inférieure forme un fossé ; 5. Limon gris très clair, poudreux ; 7. Horizon argileux sombre ; 8. Limon brun orangé, discrètement lité ; 9. Idem plus clair.

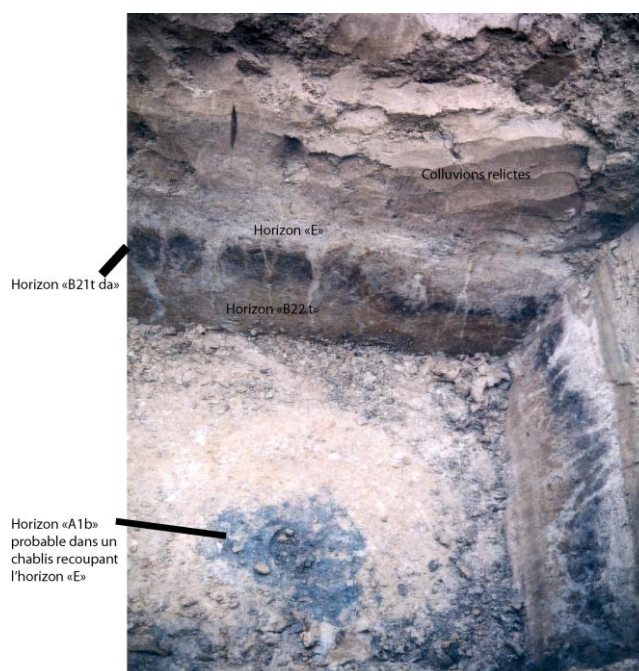


Figure 7. Vue en coupe de l'horizon « B sombre » très bien préservé et très foncé, en dessous d'un horizon « E » et d'épaisses colluvions dans le sondage F54 de Hannut/ Cras-Avernas « Trommelveld » (photo K. Fechner).

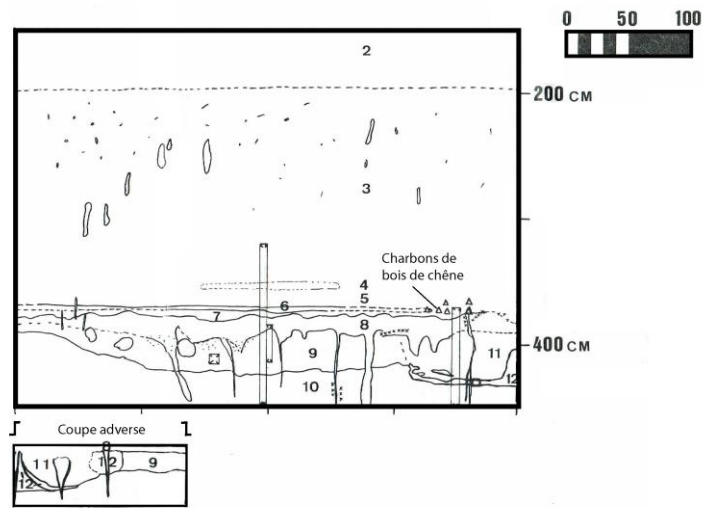


Figure 8. Relevé de la séquence du sondage F54 de Hannut/ Cras-Avernas « Trommelveld », montrant, de bas en haut, les horizons « B_t » (10), horizon « B sombre » (9), « E » (8), « B_{bi} » (7) et « A₁ » ou colluvions de celui-ci (6), en-dessous de colluvions relictées (3) et récentes (2). Des chablis au comblement noirâtre (11 et 12) recourent ici le n°9, et, dans un autre cas, le n°8 (voir figure 7) (relevé K. Fechner).

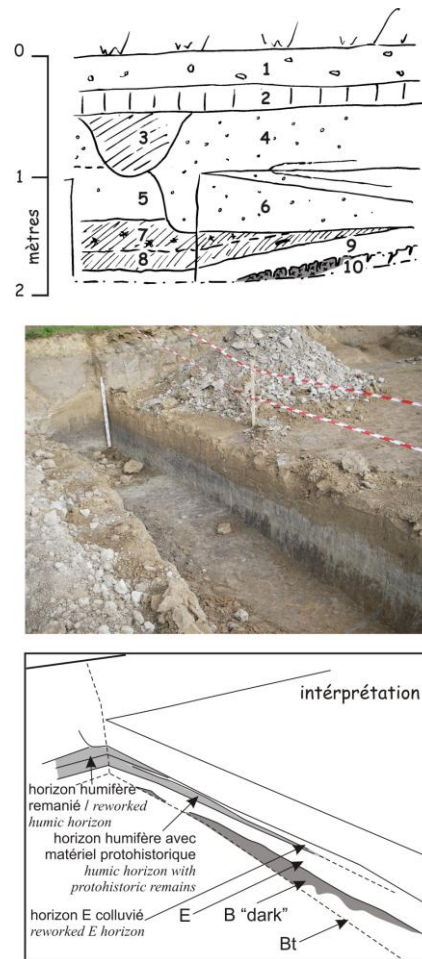


Figure 9. Description du Log de Fontaine-Notre-Dame (dessins et photo L. Deschodt). 1. Remblais, limon jaune avec craie et fragments brique ; 2. Labour ; 3. Structure (fossé) ; 4. Limon jaune avec éléments crayeux abondants ; 5. Limon jaune avec rares éléments crayeux ; 6. Structure (fossé), recoupé dans le sens longitudinal ; 7. Limon gris sombre avec charbons de bois ; 8. Limon gris sombre (légèrement plus sombre que 7), un fragment de céramique protohistorique ; 9. Limon très clair, presque blanc ; 10. Limon argileux rouille ou noir.

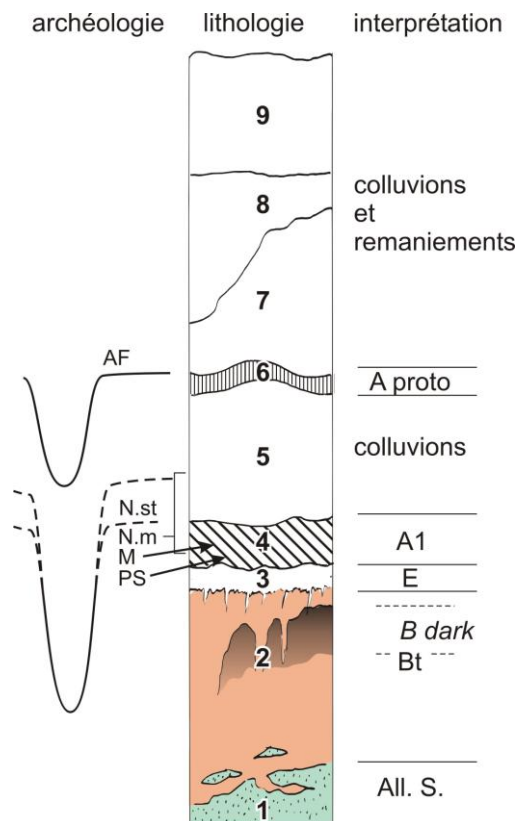


Figure 10. Observation du LOG 1 de Houplin-Ancoisne « rue Marx Dormoy » : l'horizon « B sombre » est observé en bas de versant au contact avec le fond de vallée humide à la faveur d'une petite cuvette paléo-microtopographique de quelques mètres carrés ; les autres unités, en particulier les colluvions et le sol avec matériel néolithique, s'étendent plus largement au pied du versant (relevé L. Deschodt, échelle : voir figure 11). 1. Sable vert peu compact ; 2. Limon orangé argileux, très compact, intégrant un horizon sombre discontinu ; 3. Limon pulvérulent, horizon clair, peu épais ; 4. Horizon noir inférieur, perceptible uniquement dans la zone la plus basse ; 5. Sable limoneux gris inférieur, plus ou moins limoneux ; 6. Horizon humifère supérieur ; 7. Sable gris supérieur, plus ou moins limoneux ; 8. Limon brun, avec éléments anthropiques, craie, etc. ; 9. Labour. PS : pièce lithique caractéristique du Paléolithique supérieur ; M : pièces lithiques caractéristiques du Mésolithique ; N.m : industrie néolithique (position primaire) ; N.st : structure néolithique (ouverture supposée et niveau de lecture) ; AF : structure de l'Age du Fer ; All. S. : alluvions sableuses ; A proto/horizon humifère avec matériel de l'âge du Fer.

2.4.3. Relation avec les industries humaines

Des niveaux du Mésolithique (Praud, 2004 : site de Santes, Nord, France ; Louwagie & Langohr, 2000 : site de Annœullin, Nord, France) ou du Magdalénien³ (Vermeersch, 1981 : site d'Orp-le-Grand, Province du Brabant wallon, Belgique) peuvent être rencontrés au sommet de la pédoséquence comprenant l'horizon « B sombre ». Dans tous ces cas, le niveau archéologique se situe dans la partie supérieure de l'horizon « E » ou à la base de l'horizon « A₁ » (humifère, formé dans cet horizon « E ») (figures 10, 12 et 16). Il s'agit de matériel en position primaire, peu ou non perturbée.

Les structures archéologiques excavées du Néolithique apparaissent creusées à partir de l'horizon « A₁ », formé dans le sommet de cet horizon « E », comme à Carvin (Pas-de-Calais, France ; Monchablon dir., 2015 ; figures 1, 5-6 : n° 19), à Aougny (Marne, France ; Feray, 2005 ; Fechner, 2021), à Douvrin (Broes, 2021 in Van Walscappel et al., à paraître) et à Houplin-Ancoisne « Rue Marx-Dormoy » (figures 10-11 ; Nord, France ; Martial dir., à paraître ; Martial & Praud, 2007). Si leur lecture au décapage est souvent plus aisée à la base de cet horizon, elles peuvent aussi apparaître plus haut, dans de rares cas de colluvions datant du Néolithique (figures 10-11 : Houplin-Ancoisne

³ Souvent associé au Bølling, voire au Dryas ancien (par ex. Pettitt & White, 2012 : 430)

« rue Marx-Dormoy » et « Marais de Santes » : Praud dir., 2015) ou au sommet de l'horizon A₁ (figures 1 et 5 : Carvin, coupe 7 ; figures 12-14 : Santes ; Fechner, 2017 : Verquin).

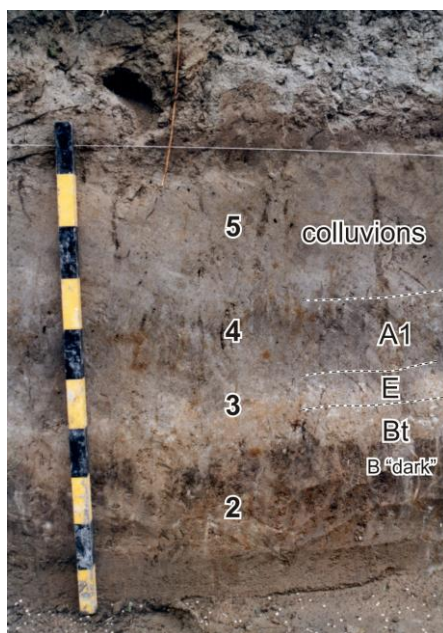


Figure 11. Vue de la pédoséquence d'Houplin-Ancoisne « rue Marx Dormoy » (LOG 1). Légende : voir figure 9 (dessin L. Deschodt).

Séquences comprenant un horizon B sombre		Granulométrie (sélection)		Carbone organique		Chimie minérale (sélection)		Manganèse		Autres
Horizon					Phosphore total	Calcium			Phytolithes/ biogéochimie moléculaire	
Annoeulin										
B 21 t sombre	argiles	sables extr. grossiers	C (en %)	P assimilable (en mg/100g)	Ca (en mg/100g)	Mn (en mg/100g)				
	28,8	0%	0,38%	10		70				
Brugelette										
Colluvions	argiles	sables extr. grossiers	C (en %)	P (en mg/100g)	Ca (en mg/100g)	Mn (en mg/100g)				
	13,80%	0,20%	0,20%							
F	11,40%	0,10%	0,10%	39-70mg/100g	106/ 112					
B 21 t sombre	19,10%	0,10%	0,20%		218					
B 22 t	23,90%	0,10%			272					
Carvin										
Str. néolithiques	argiles	sables extr. grossiers	C (en %)	P (en mg/100g)	Ca (en mg/100g)	Mn (en mg/100g)	Phytolithes Poacées, dont un quart de Poacées, surtout orge. Panicoïdées, chloroïdées.			
F	15,40%	0,00%	0,22%							
B 21 t sombre	18%	0,30%	0,52%				Poacées, panicoïdées			
B 22 t	23,50%	0,30%								
Ere										
A1 ancien	argiles	sables extr. grossiers	C (en %)	P (en mg/100g)	Ca (en mg/100g)	Mn (en mg/100g)	Biochimie moléculaire			
	20,5-23,2% bat611	0-0,2%	0,45-0,47%	79,3-86		11-17				
E	17,80%	0,00%	0,21%				Poacées, astéracées			
E-Bt	15,40%	0,10%	0,14%							
B 21 t sombre	16,8-18,3%	0,10-0,70%	0,34%sup-0,31%inf	66,6-3-68		24-54				
B 22 t	22,9-23,8%	0,00%								
Huisseignes										
Colluvions ou E	argiles	sables extr. grossiers	C (en %)	P (en mg/100g)	Ca (en mg/100g)	Mn (en mg/100g)				
	18%	0,20%	0,20%							
B 21 t sombre	19,50%	0,10%	0,50%							
B 22 t	25,80%	0,10%	0,20%	77	434	103	40			
Rutz										
Colluvions	argiles	sables extr. grossiers	C (en %)	P (en mg/100g)	Ca (en mg/100g)	Mn (en mg/100g)				
	18	<1								
Colluvions	20	<1								
E	14	<1								
B 21 t sombre	21	<1								
B 22 t	20	<1								
B bêta	30	<1								
Saint-Quentin										
E/B21 t sombre	argiles	sables extr. grossiers	C (en %)	P (en mg/100g)	Ca (en mg/100g)	Mn (en mg/100g)				
	13,80%	0,20%								
Horizons sombres anciens enterrés, peu ou pas anthropisés ("A1"), pour comparaison										
Houplin-Ancoisne "Rue Marx-Dormoy"										
Colluvions	argiles	sables extr. grossiers	C (en %)	P (en mg/100g)	Ca (en mg/100g)	Mn (en mg/100g)				
A1 ancien	12,1%/ 15% (cp5)	0,10% (cp5)	0,51%	70						
E	10,9%/ 11,8% (cp5)	0,10% (cp5)	0,14%							
B 22 t	18,6%/ 19,8% (cp5)	0% (cp5)		44						
Houplin-Ancoisne "Les Marais de Santes"										
Colluvions	argiles	sables extr. grossiers	C (en %)	P (en mg/100g)	Ca (en mg/100g)	Mn (en mg/100g)				
	13%	0,30%								
A1 ancien	15,1-18%	0%	0,46-0,53%	74,4						
E	17,5%	0%								
B 22 t	25,30%	0%/								
Peronnees										
Colluvions	argiles	sables extr. grossiers	C (en %)	P (en mg/100g)	Ca (en mg/100g)	Mn (en mg/100g)				
	13,10%	0,10%	0,20%							
E	10,80%	0,10%	0,20%	88	116					
B 21 t sombre ?			0,20%							
Saint-Maur "Mont de Taintignies"										
B 21 t sombre ?	argiles	sables extr. grossiers	C (en %)	P (en mg/100g)	Ca (en mg/100g)	Mn (en mg/100g)				
			0,40%	238						
Rumes										
A1 pléistocène	argiles	sables extr. grossiers	C (en %)	P (en mg/100g)	Ca (en mg/100g)	Mn (en mg/100g)				
			0,84% c.2	35	499	88				
A1 pléistocène			0,88% c.4	35,3	698	109				
Babeel										
A1 ancien en milieu humide	argiles	sables extr. grossiers	C (en %)	P (en mg/100g)	Ca (en mg/100g)	Mn (en mg/100g)				
			0,84%							

Tableau 2. Principales analyses menées sur les horizons anciens concernés par l'étude. Au sommet : horizon « B sombre » (en gras) et horizons de part et d'autre ; à la base : horizons sombres de comparaison (K. Fechner, F. Broes).

Complements sables de fosses et chablis anciens, peu ou pas anthropisés, pour comparaison						
Horizon	Granulométrie (sélection)		Chimie minérale (sélection)			
			Carbone organique	Phosphate total	Calcium	Manganèse
			Aubachies "Coron Malton" (complements noirs de chablis)			
	argiles	sables extr. grossiers	C (en %)	P (en mg/100g)	Ca (en mg/100g)	Mn (en mg/100g)
A1 chablis			>1%Chablis3			
A1 chablis			>1,5%Chablis rectang.			
			Enlées (complements sables de fosses et de fosses Néol. moyen)			
A1 chablis	argiles	sables extr. grossiers	C (en %)	P (en mg/100g)	Ca (en mg/100g)	Mn (en mg/100g)
A1 fosse			0,1%			
			0,1 / 0,24% fosse			
			Gondincourt (complements sables de chablis)			
A1 chablis	argiles	sables extr. grossiers	C (en %)	P (en mg/100g)	Ca (en mg/100g)	Mn (en mg/100g)
			0,6% / 0,66%	48,2	372/ 252	42,4/ 78,4
			Ormeignies "Pilor" (complements sables de type B sombre dans fosse Néol. ancien)			
	argiles	sables extr. grossiers	C (en %)	P (en mg/100g)	Ca (en mg/100g)	Mn (en mg/100g)
			0,29%			
			Ormeignies "Pilor" (complements sables de chablis et de fosses Néol. ancien)			
Fosse 129	argiles	sables extr. grossiers	C (en %)	P (en mg/100g)	Ca (en mg/100g)	Mn (en mg/100g)
			1,26%fosse129			
Fosses diverses			0,24%, 0,42% ech28/3 et 25	48,8	212, 264 (ech28/3 et 25)	10, 12 (ech28/3 et 25)
A1 chablis			0,96%chablis			
			Taintgnies			
A1 fosse non-datée	argiles	sables extr. grossiers	C (en %)	P (en mg/100g)	Ca (en mg/100g)	Mn (en mg/100g)
A1 ancien			0,4%fosse			
			0,12%			
			Tourpes			
A1 chablis	argiles	sables extr. grossiers	C (en %)	P (en mg/100g)	Ca (en mg/100g)	Mn (en mg/100g)
A1 chablis			0,3%Humus1 / >1% / 1,5% (site DAM)		372	177
			1,14chablis			
Horizons calcaires ("Cca") et C analysés dans séquences comprenant un B21 t sombre						
			Aire-sur-la-Lys			
	argiles	sables extr. grossiers	C (en %)	P (en mg/100g)	Ca (en mg/100g)	Mn (en mg/100g)
E-Bt	17,2 Pt1 / 15,4 Pt24	0,4% Pt1 / 0,5% Pt24				
B 22 t	23,5-24%	0-0,2%				
Cca sup	17,40%	0-0,1%			760 Pt24	
Cca	15,1-16,4	0-0,1%			742 Pt1 / 735 Pt24	
			Hannut			
	argiles	sables extr. grossiers	C (en %)	P (en mg/100g)	Ca (en mg/100g)	Mn (en mg/100g)
Cca					740	
			Witres			
B 22 t	22,9% SD3 22,5% SD4	0,0-0,1%				
C(ca)?/ base C	20,10%	0,0%			234 H1-3	
Cca	15,9-17,9%	0,1-0,4%			740-746 C1-2/ MN1-3	
			Maroeuil			
C(ca)?/ base Cca	17,70%					
			Onnaing			
B 22 t	23,1-25,3%	0,1-0,4%				
C	18,3% B3/C	0,7%				

Tableau 3. Principales analyses menées dans les complements de structures en creux de comparaison, ainsi que dans les horizons anciens sous-jacents à l'horizon « B sombre » (B_t, C et C_{ca}) (K. Fechner, F. Broes).

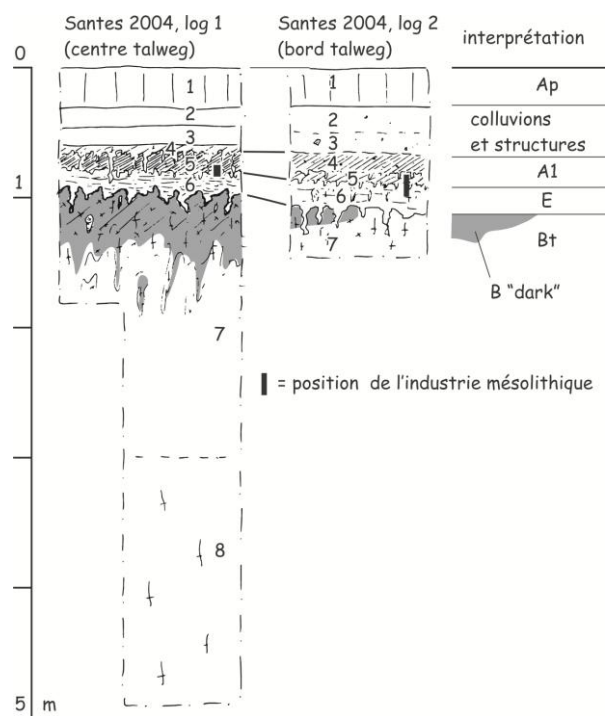


Figure 12. Descriptions des Log du site de Santes : sur un long versant en pente très douce dirigé vers la vallée de la Deûle, un talweg colmaté par des colluvions limoneuses a révélé une pédoséquence bien conservée avec matériel mésolithique. L'horizon « B sombre », bien développé au centre du talweg (LOG 1) disparaît rapidement sur ses bords (LOG 2) (dessins L. Deschodt). **LOG n° 1** : 1. Labours ; 2. Remaniements ; 3. Remaniements (fossé recoupé dans le sens de sa longueur) ; 4. Limon gris clair, aspect hétérogène (très petits agrégats de limon poudreux blanc : remaniement ?), avec nombreuses taches d'oxydes ferriques, soit en très petites concentrations (inférieures 1 mm), soit en zones plus diffuses, en particulier en partie supérieure ; 5. Limite supérieure diffuse, limon gris ; 6. Limon blanc poudreux avec bandes horizontales grises, de l'ordre du millimètre en partie supérieure, de plus en plus espacées et larges en partie inférieure (jusqu'à environ 8 mm) ; 7. Limite entre 6 et 7 très irrégulière (avec agrégats de 7 dans 6), concentrations d'oxyde ferrique et zone très sombre, en partie supérieure ; présence d'un terrier rempli de limon blanc avec bandes d'illuviation, identique à 6 ; 8. Limon loessique légèrement sablonneux en tête, verdâtre, avec concrétions d'oxydes de fer (traces de racines), humide ; **LOG n° 2** : 1. Labours ; 2. Limon hétérogène, brun clair, petits fragments de terre cuite, présence d'agrégats de tailles variables, très clairs, provenant très probablement du limon clair sous-jacent ; 3. Limon brun, aspect hétérogène, présence de fragments de terre cuite (tegula ?), nombreuses taches d'oxydation ferrique ; la limite inférieure est diffuse mais correspond à l'ouverture de structures découvertes en sondage ; 4. Limon gris moyen, beaucoup plus sombre et compact que le niveau sous-jacent, marbrures ferriques pénétrant un peu dans l'unité sous-jacente ; 5. Limon gris clair, très fines bandes d'illuviation (lignes légèrement plus sombres, difficiles à percevoir), quelques fragments de tesson de céramique d'âge indéterminé (protohistoriques ?) ; 6. Limon très clair, poudreux, bandes d'illuviations sombres d'ordre millimétrique (cf. détail) devenant parfois plus massives

hétérogène, brun clair, petits fragments de terre cuite, présence d'agrégats de tailles variables, très clairs, provenant très probablement du limon clair sous-jacent ; 3. Limon brun, aspect hétérogène, présence de fragments de terre cuite (tegula ?), nombreuses taches d'oxydation ferrique ; la limite inférieure est diffuse mais correspond à l'ouverture de structures découvertes en sondage ; 4. Limon gris moyen, beaucoup plus sombre et compact que le niveau sous-jacent, marbrures ferriques pénétrant un peu dans l'unité sous-jacente ; 5. Limon gris clair, très fines bandes d'illuviation (lignes légèrement plus sombres, difficiles à percevoir), quelques fragments de tesson de céramique d'âge indéterminé (protohistoriques ?) ; 6. Limon très clair, poudreux, bandes d'illuviations sombres d'ordre millimétrique (cf. détail) devenant parfois plus massives

vers le bas, quelques marbrures ferriques au centre de l'unité. L'épaisseur de l'unité varie considérablement et très vite : absente à plusieurs décimètres, en fonction d'une limite inférieure très irrégulière ; 7. Limon verdâtre, avec percolation de limon très clair, concentration intense de limon ferrique avec latéralement coloration noire.

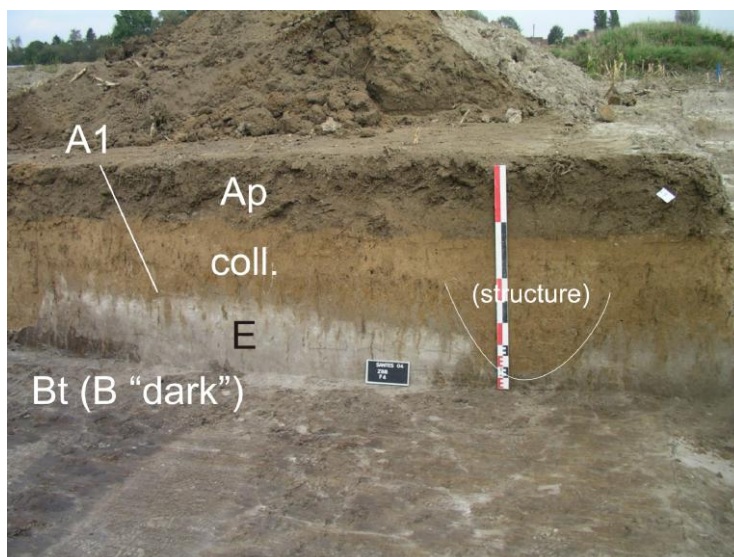


Figure 13. Santes : vue au décapage de l'horizon « B sombre » affecté par un réseau de fente et un épais horizon « E », blanchâtres, au centre du talweg (LOG 1) (photo L. Deschodt).

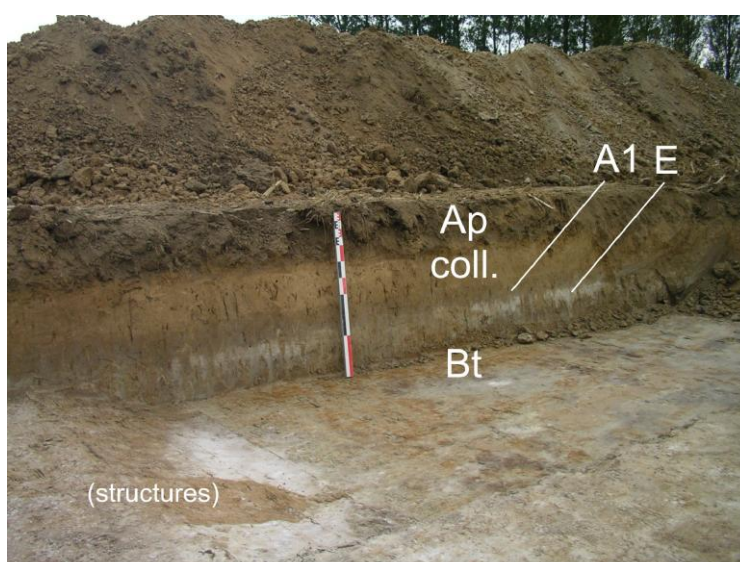


Figure 14. Santes : LOG 2, en bord de thalweg ne présente plus que des traces discontinues (décapage de la base irrégulière du « B sombre ») (photo L. Deschodt).

2.4. Couleur, morphologie et limites

La couleur de l'horizon est brune foncée à noire. Elle imprègne la masse et ne provient pas d'apports postérieurs. Les couleurs sont réparties sur les moitiés inférieures (*value* : 2 à 5) des planches 5YR, 2,5YR et 10YR et 2,5Y du code de Munsell (Oyama & Takehara, 1967).

Nous excluons une coloration due uniquement au manganèse, car cet horizon présente presque toujours des taux de manganèse faibles ; de plus aucun nodule ferro-manganique n'est observé sauf dans de rares cas où on identifie aussi d'autres indices d'hydromorphie (taches de lessivage et d'accumulation d'oxydes de fer). Une autre caractéristique morphologique propre à l'horizon « B sombre » est la présence d'un réseau de fissures et micro-fissures verticales qui affecte l'horizon et qui

s'explique par la descente de sédiment clair, semblant provenir de l'horizon « E » (**figures 12-14**). La morphologie en plan de ce réseau et son extension dans l'horizon « B_{22t} » le rattachent à un réseau formé dans des conditions périglaciaires (Van Vliet-Lanoë *et al.*, 1992 ; Van Vliet-Lanoë, 1990, 1995). La base de l'horizon « B sombre » est irrégulière et diffuse, avec parfois des reprises locales dans l'horizon « B_{22t} » sous-jacent (**figure 5 : n° 15**).

2.5. Analyses de chimie minérale

Les principaux résultats d'analyses sont regroupés dans les **tableaux 2 et 3**.

2.5.1. Analyses du taux de carbone organique

Au sein de l'horizon « B sombre », les taux de carbone organique sont toujours légèrement plus élevés que dans les deux horizons sus- et sous-jacents (**tableau 2**) ce qui confirme l'origine organique de la couleur. Ils sont de 0,2 à 0,55 % dans le « B sombre » alors qu'ils sont inférieurs à 0,15 % dans l'horizon « E », situé au-dessus, et dans l'horizon « B_{22t} », situé en dessous. Ceci exclut les contaminations par une surface postérieure à la formation de ces horizons « E » et « B_t », et est cohérent avec l'hypothèse d'une conservation partielle d'un horizon antérieur à leur formation. De plus, les observations micromorphologiques (*cf. infra*) permettent d'écarter l'hypothèse d'une migration de matière organique.

On observe typiquement, pour les horizons de type « B sombre » des taux situés entre 0,30 et 0,35 % de carbone organique. La grande majorité de ces horizons se différencient des paléo-horizons de surface holocènes et des chablis de couleur noirâtre (Tourpes, Gondregnies et Coron Maton, province de Hainaut, Belgique ; [Fechner 2012a, 2012b](#)), qui ont, eux, des taux supérieurs à 0,4 et souvent à 0,6 % de carbone organique (bas du **tableau 2 et tableau 3**).

Sur certains chantiers archéologiques, des horizons et comblements de structures archéologiques de couleur sombre ont été suspectés d'être issus de l'horizon « B sombre » (bas du **tableau 2, tableau 3**). Les analyses de carbone organique tendent à valider cette hypothèse (horizons enterrés de Taintignies et de Peronnes, comblements de fosses du Néolithique ancien à Ormeignies « Le Pilon », tous en Province de Hainaut et comblements de fosses du Néolithique moyen à Enines, en Province du Brabant ([Fechner, 2021](#)).

Des cas particuliers d'horizons de type « B sombre », avec 0,4 à 0,55 % de carbone organique, ont été repérés à Carvin (Pas-de-Calais : [Monchablon dir., 2015](#)) et à Huissignies (province de Hainaut : [Fechner & Schartz, 2000 ; Fechner, 2021](#)), au pied du site de Maroeuil (Pas-de-Calais, profil P26 : horizon très sombre et hydromorphe du vallon plus humide, [Fechner et al., 2015](#)), un vallon humide du site de Marquion ([Broes, 2016 in Prilaux et al., 2016](#)) et sur l'un des deux profils d'Annœullin, situé au centre du vallon (profil P1, [Louwagie & Langohr, 2000](#)). Ces horizons sont repérés dans des vallons aux profils plus hydromorphes, expliquant une moindre décomposition de la matière organique par des activités bactérienne et fongique réduites en milieu temporairement anaérobie ([Redby et al., 1986 ; Baumann et al., 2013 ; Rabbi et al., 2024](#)) et par la même l'observation de valeurs situées à la limite de celles reconnues pour d'anciennes paléosurfaces formées plus tard, à l'Holocène (**tableau 3**).

L'horizon noir de Gondregnies ([Collet et al., 2017](#)) présente 0,7 % de carbone organique⁴. Il s'agit d'un matériau très sombre qui correspond probablement au comblement d'un chablis et qui est affecté par de fines fissures lessivées (**tableau 3**). Ici, le piégeage dans une structure en creux étroite, de plan rectangulaire, qui a servi de réceptacle pour les eaux d'infiltration, explique la préservation un peu meilleure de la matière organique.

⁴ Analyses réalisées dans un autre laboratoire, à Ath, méthode de Anne.

2.5.2. Analyses du taux de manganèse

Les taux de manganèse varient fortement, de 24 à 103 mg/100 g pour les horizons de type « B sombre » avec une majorité de taux peu élevés, entre 24 et 70 mg/100 g. Le taux de manganèse peut parfois être très bas (Mareuil P26 : 6,6 mg/100 g) et on ne note pas ou peu d'enrichissement relatif par rapport aux horizons « E » et « B_{22t} ». Par conséquent, le manganèse n'est pas la cause principale de la coloration sombre et ne semble pas être diagnostique pour la définition de l'horizon.

2.5.3. Analyses du taux de phosphate total

Au sein de l'horizon « B sombre », on note à plusieurs reprises une accumulation relative de la fraction organique du phosphate total, notamment sur le site de Fexhe-le-Haut-Clocher (Broes *et al.*, 2018). Cette richesse relative apparaît dans les parties sombres du sol naturel liées à l'horizon « B sombre », visibles tant en coupe qu'en plan, en association avec une augmentation de la susceptibilité magnétique. En l'absence de processus pouvant expliquer des enrichissements différentiels ultérieurs, il est probable que ce phosphore soit syngénétique et dû à des formations végétales contemporaines de la formation de l'horizon « B sombre ».

2.5.4. Analyses du taux de calcium échangeable

On note enfin que les taux de calcium échangeable⁵ du limon calcaire sous-jacent à la formation (bas du **tableau 3**) sont similaires dans les rares cas analysés : 735-760 mg/100 g à Wittes et à Aire-sur-la-Lys (Pas-de-Calais), 740 mg/100 g à Hannut/Cras-Avernas (Province de Liège), ce qui témoigne probablement d'un taux initial et d'une vitesse de décarbonatation comparables dans ces cas de différentes régions.

2.6. Analyses granulométriques

Les **tableaux 2 et 3** permettent de comparer la granulométrie de plusieurs horizons de type « B sombre » entre eux (**tableau 2**), avec celles des horizons sus- et sous-jacents (**tableaux 2 et 3**) et des comblements de structures en creux (**tableau 3**). Les taux de sables grossiers et très grossiers sont généralement très bas⁶ et ne varient pas entre horizons « E », « B sombre » et « B_{22t} ». Ces données nous incitent à nouveau à interpréter l'horizon sombre, non comme un dépôt sédimentaire distinct, mais plutôt comme la trace d'une pédogenèse plus ancienne au sein d'un dépôt uniforme de loess, affecté ensuite par la migration d'argile. Les taux d'argile sont variables, mais toujours situés entre 17 et 25,5 %, majoritairement entre 22 à 25 %. Cette texture est très proche, voire similaire, à celle de l'horizon B_{22t} (par exemple, Mareuil, profil P26 : 23 % contre 24-26,5 % dans « B_{22t} » sous-jacent). Les taux inférieurs, de 17 à 21 % d'argile, sont associés à la présence de fissures connectées à l'horizon éluvial sus-jacent appauvri en argile (« E »), pénétrant profondément dans l'horizon « B_t » sous-jacent. À leur sommet, les fissures sont plus larges et nombreuses, ce qui peut modifier localement les résultats d'analyses de laboratoire exécutées sur les échantillons prélevés à ce niveau. Dans ce cas, on peut parler de transition entre horizons « E » et horizon « B sombre » (« E-B »). On y observe moins d'argile, ce qui entraîne un enrichissement relatif en limon (par exemple Maroeuil, profil P2, 18 % d'argile contre 15,4 % dans l'horizon « E » sus-jacent).

2.7. Analyses micromorphologiques

Les observations micromorphologiques n'ont pas encore fait l'objet d'une analyse synthétique. Nos premières constatations se basent d'abord sur l'étude en lame mince de la séquence d'Annœullin (Nord, France) de Louwagie & Langohr (2000) qui est la plus détaillée et riche en indices archéopédologiques. La présence de grains de glauconie, de muscovite, de sable quartzueux témoigne

⁵ Extrait à l'acétate d'ammonium

⁶ À la limite de la détectabilité.

d'un apport sédimentaire dérivé de lœss et de sables. La succession micro-stratigraphique des indices montre que la formation de l'horizon organique est intervenue avant la décarbonatation du dépôt de loess. La mauvaise décomposition des matières organiques dans un milieu saturé en calcium, associé à des conditions climatiques froides et sèches, serait à l'origine de la formation de l'horizon d'un sol de type chernozem ou apparenté⁷ (Vyslouzilova, 2014). L'étude confirme que la décarbonatation de l'horizon humifère ancien précède l'ensemble des processus de lessivage des argiles, avant des transformations par le gel (réseau polyédrique à la surface du « B sombre » et du « B_t »). Cette décarbonatation pourrait s'être effectuée au Bølling, avec le début de l'illuviation contemporain d'une augmentation des précipitations, une chaleur estivale, un meilleur drainage, et la disparition du gel profond.

Sur ce site, certains indices micromorphologiques observés dans l'actuel horizon « E » y indiquent aussi la présence antérieure du sommet de l'épais horizon humifère, dont seule la base est encore visible de nos jours, dans l'horizon « B sombre ». On identifie notamment la même matière organique amorphe que dans l'horizon « B sombre ». Dans ce contexte mal drainé, où la nappe phréatique est battante et peu profonde, la décarbonatation de l'horizon « E » a été suivie de recarbonatation(s) par endroits. Ceci a, selon les auteurs, permis de préserver des indices de carbonates secondaires typiques formés en relation avec la matière organique à l'époque, un autre indice possible de la présence passée de l'horizon humifère formé en milieu calcaire (ancien « A_h ») à ce niveau⁸, ce que confirment les observations ultérieures de lames de ce site par Brigitte Van Vliet-Lanoë (voir ci-dessous).

De nombreuses études ont pu être réalisées sur diverses lames minces isolées issues de différents sites. Elles montrent que les caractéristiques de l'horizon « B sombre » diffèrent d'autres types d'horizons très sombres à noirs reconnus sur les sites archéologiques (Doutrelepont *et al.*, 2012 ; Fechner & Menbrivès, 2023 : laminations noires argileuses ; Fechner *et al.*, 2019 ; Fechner, 2021 ; Fechner, 2022 : horizons de surface mésolithiques et néolithiques). Les observations montrent des zones marquées par des pigmentations noires dues à de l'humus. Elles passent de manière souvent graduelle à un matériau plus lessivé de son argile et incluent localement des fragments ou des taches organiques plus grandes, plus sombres et arrondies, liées à un état de décomposition moins avancée. Il n'y a pas de lien entre ces fragments ou tâches et les revêtements d'argile, ce qui permet de privilégier l'hypothèse d'une formation diachrone.

À Carvin (Monchablon *dir.*, 2015) par exemple, la coloration par de l'humus affecte la masse du sédiment avant la mise en place des revêtements d'argile sur les pores. Il s'agit d'un sédiment brun plus ou moins clair à beige avec de nombreuses zones plus foncées, réparties de façon homogène. Observée à fort grossissement, la pigmentation par de fines particules d'humus est nette à plusieurs endroits. On observe des revêtements et des quasi-coatings de fer. Les revêtements d'argile biréfringents sont fins, presque toujours rouge foncé, riches en fer. Le tri granulométrique reste partout plus ou moins bon, rappelant celui observé en lame mince dans l'horizon « E » sus-jacent. Des microfissures gris clair recoupent ces masses sombres de manière abrupte, indiquant la postériorité du processus de fissuration.

Le caractère plus récent des revêtements, limpides comme poussiéreux, est observée également dans les lames minces dans les horizons de type « B sombre » d'Huissignies et d'Oleye.

Le corpus de lame mince a été passé en revue par une spécialiste du Tardiglaciaire, Brigitte Van Vliet-Lanoë. Une centaine de détails micromorphologiques des horizons de type « B sombre » en

⁷ On note à ce propos qu'il y a de plus en plus d'indices de présence de chernozems en Europe occidentale (Vyslouzilova *et al.*, 2015 ; voir aussi la thèse de Barbora Vyslouzilova : Vyslouzilova, 2014 ; diverses observations de N. Schneider, D. Ertlen, D. Schwartz).

⁸ Dans ce contexte peu éloigné de la surface, on ne saurait cependant exclure qu'une partie de la cristallisation, de type calcite aciculaire, soit datée de l'Holocène.

provenance des sites d’Huissignies, de Carvin, d’Annœullin, d’Oleye et d’Erre lui ont été soumis sous la forme de photographies, à plusieurs agrandissements.

On y observe à plusieurs occasions les traits caractéristiques d’un hydromull calcaire sans doute formé au-dessus d’un sol gelé qui cause l’engorgement du milieu (présence de ferrihydrite, nodules de calcite probablement dus à *Dendrobena* un ver indicateur d’un milieu froid). Cela conforte la proposition déjà faite d’une formation en milieu calcaire. La présence de débris organiques suggère aussi un apport de type fétuque rouge (graminée, sub-arctique/arctique), de roseaux, de thypas et certainement de Cypéracées, plus silicifiées, enfin d’*Artemisia* (Astéracée). Ces espèces correspondent en partie avec celles mentionnées pour le Dryas ancien (« *oldest Dryas* », par ex. Clark *et al.*, 2012, entre 18 500/17 000 et 15 000/14 000 BP. selon *ibid.* ; Roberts, 2014 ; Shakun *et al.*, 2010 ; Rasmussen *et al.*, 2014).

Ces observations précisent l’environnement de milieu (froid, subarctique) caractéristique de certaines phases du Tardiglaciaire contemporain de la formation de cette pédogenèse. Dans les cas étudiés, l’horizon formé serait spécifique à un contexte un peu moins calcaire, de type hydromull, à savoir un horizon de surface de type « mull » fréquemment engorgé (Jabiol, 2009 : 350). L’ensemble de ces données micromorphologiques (tout comme celles issues des analyses granulométriques) montrent que les variations verticales ne sont pas dues à des dépôts superposés. Elles indiquent le caractère polyphasé de la séquence pédogénétique observée avec une phase initiale humifère en milieu calcaire et en contexte de prairie subarctique.

2.8. Analyse phytolithaires

L’analyse phytolithaires d’un horizon « B sombre » observé sur le site de Carvin (**figures 1, 5-6 ; tableau 2**) montre un spectre de phytolithes caractéristique d’un environnement de type prairie. Ceci contraste avec les autres échantillons du site issus des couches sombres attribuées au néolithique moyen II qui sont, elles, marquées par la céréaliculture (Chevalier, 2014).

L’auteur de l’étude y observe une majorité de *Pooideae*, une forte proportion de *Panicooideae*, quelques trichomes et un très faible pourcentage de morphologies liées aux taxons herbacés ou arborées. Nous avons ici affaire à des plantes de prairie, des graminées de climat humide et frais, avec une part non négligeable de graminées d’un environnement plus tempéré.

2.9. Analyse de chimie organique

Jusqu’à présent, un seul échantillon a été analysé par biogéochimie moléculaire⁹. Il s’agit de l’horizon « B sombre » particulièrement épais et foncé du site d’Erre (**figure 15 ; tableau 2** ; Pas-de-Calais, Fechner *et al.*, 2015). La distribution des composés lipidiques obtenus après extraction et dérivation présente des caractéristiques que nous pouvons rattacher à des sols sous prairie (Trendel *et al.*, 2010). Nous observons notamment une prédominance de l’alcool gras en C26 et de l’alcane linéaire en C31 qu’il est possible de rattacher à la présence de Poacées, ainsi que la présence de composés triterpéniques relativement spécifiques comme l’acétate de bauerenyle, ce dernier pouvant être considéré comme un marqueur d’Asteracées (Lavrieux *et al.*, 2012). À cet égard, la distribution des lipides présente une certaine similitude avec les distributions observées dans le cas de prairies vosgiennes (hautes-chaumes) (Trendel *et al.*, 2010). La signature lipidique pourrait donc être considérée comme compatible avec celle attendue pour un sol de steppe. De plus, cette analyse chimique apporte la confirmation que la matière organique de ces horizons sombres est une matière fossile, malgré la relative faible profondeur de l’horizon.

⁹ Analyses réalisées par Pierre Adam et Philippe Schaeffer de l’université de Strasbourg.

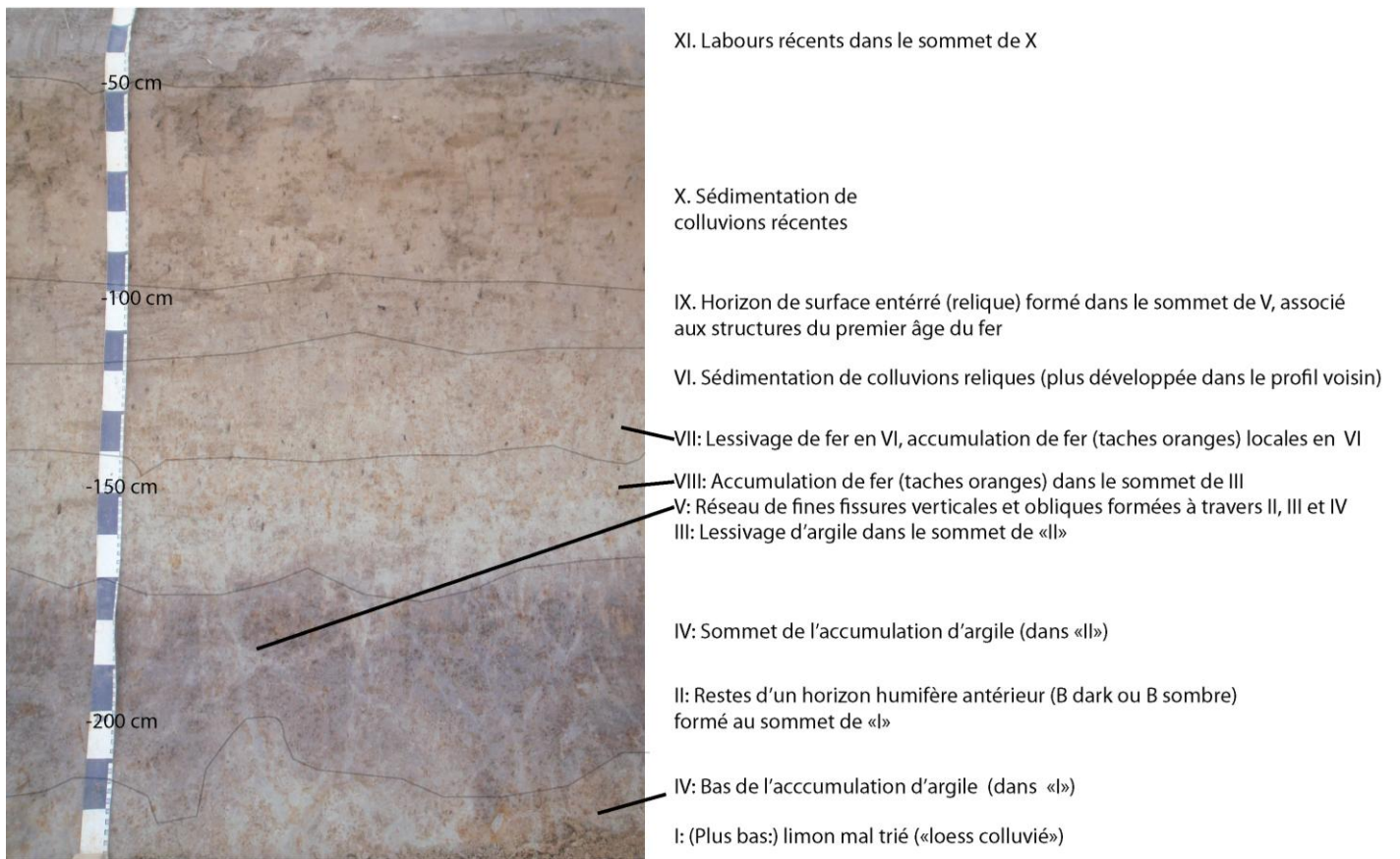


Figure 15. Vue du profil P1 du site d'Erre « rue Condorcet et Hubert Parent » et proposition de séquence pédostratigraphique (phases I-XI) (photo K. Fechner).

3. Genèse et chronologie reconstituées sur base des analyses et des conditions de préservation

Les étapes probables de formation de l'horizon « B sombre » peuvent être reconstituées en se basant sur l'ensemble des données décrites ci-dessus. Elles sont synthétisées dans les **figures 16 à 18**.

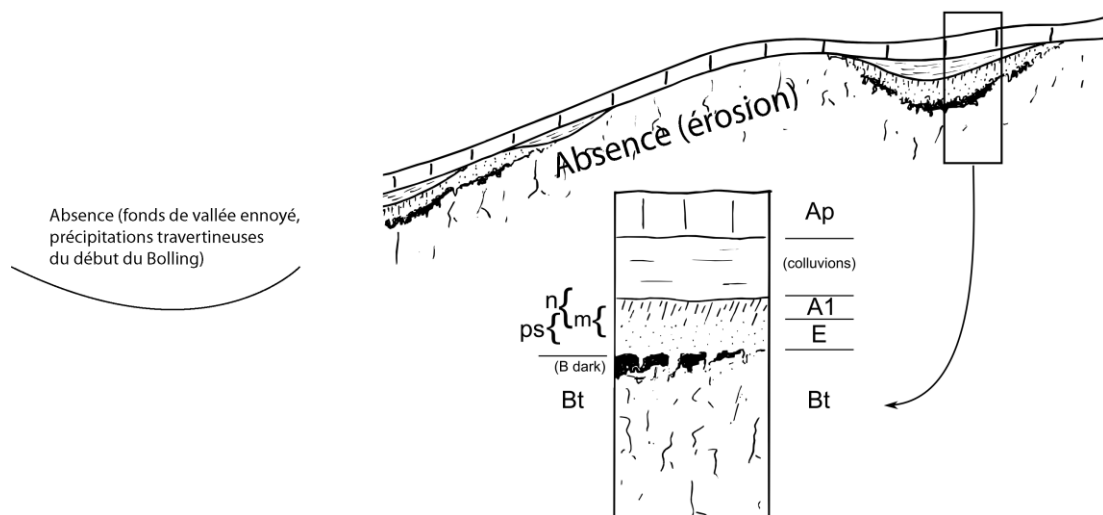


Figure 16. Séquence type, position des horizons corrélées avec les observations micro-morphologiques ainsi que des zones dénuées de l'horizon « B sombre ». Il est surtout conservé dans des points plus bas non ennoyés: à gauche : en bas et pied de versant, à droite : dans un petit talweg qui marque le versant (dessin: L. Deschodt ; K. Fechner). « **B_t** » développé sur loess, limon brun orangé argileux (dur et compact), structure prismatique (horizon enrichi en argile par lessivage) ; « **B dark** » ou « **B sombre** » au sommet du « **B_t** » :

idem, mais coloration très sombre (gris très sombre à noir), discontinu ; « E », horizon éluvial, clair, voir blanchâtre, peu compact, zone appauvri en argile par lessivage ; « A₁ », ancien horizon humifère, gris à gris sombre (rarement présent, scellé systématiquement par des colluvions quand il est présent) ; « A_p », horizon de labours ; ps : pièce lithique caractéristique du Paléolithique supérieur ; m : pièces lithiques caractéristiques du Mésolithique ; n : industrie néolithique (position primaire).

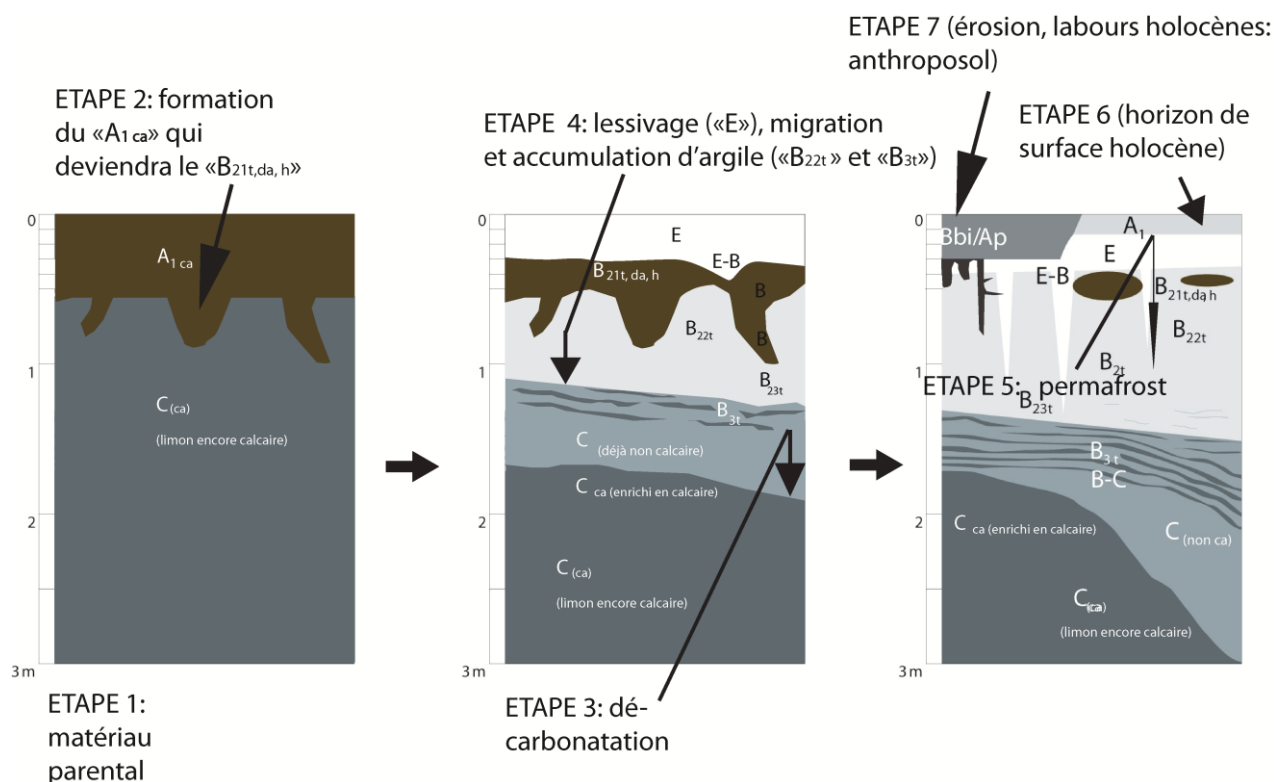


Figure 17. Étapes principales de la formation du profil actuel comprenant l'horizon « B sombre » (dessin K. Fechner). **Étape 1 :** matériau parental calcaire (souvent un loëss) ; **étape 2 :** formation d'un horizon humifère épais sur limon calcaire ; **étape 3 :** décarbonatation du matériau parental ; **étape 4 :** lessivage, formation de l'horizon « E » (éluviation d'argile) et du « B_t » (illuviation d'argile) ; **étape 5 :** réseau polygonal de fissures ; **étape 6 :** restes de la base de l'horizon humifère originel fixé au sommet du « B_t », traversé par les fissures, faible formation de sol holocène (fin horizon humifère peu marqué) ; **étape 7 :** état actuel, souvent marqué par forte influence humaine (accentuation des bioturbations, labours profonds, érosion et sédimentation...).

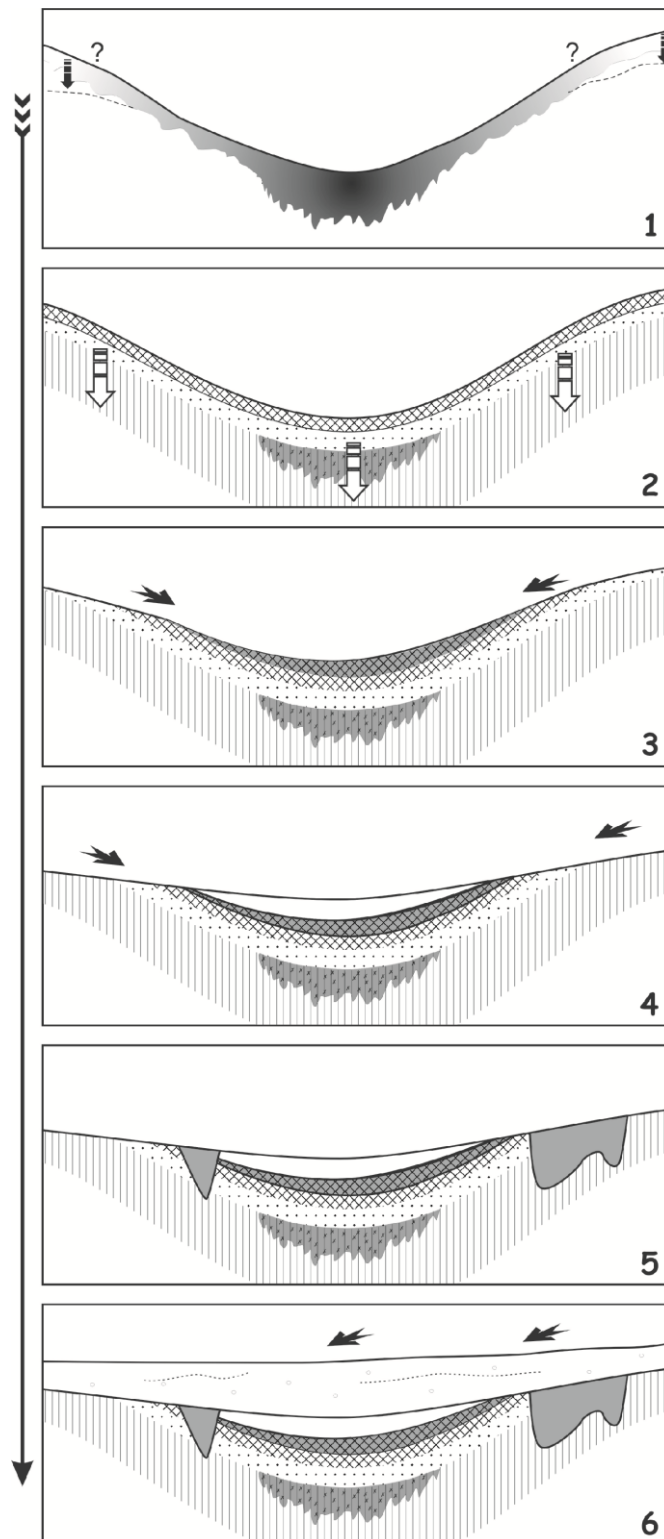


Figure 18. Formation et évolution supposées de l'horizon « B sombre » (dessin L. Deschodt). Interprétation de l'évolution du paléoenvironnement sur base des observations faites à Fontaine-Notre-Dame (dessin L. Deschodt). **Étape 1 :** talweg en bas de versant, constitution d'un horizon humifère sur loess calcaire (première partie Bølling ?) en fond de talweg, passage à une décarbonatation et transition avec pédogenèse différenciée hors talweg ; **étape 2 :** lessivage, distinction des horizons « E »/« B_t » et dégradation de l'horizon précédent (Bølling/Allerød) ; **étape 3 :** indices de présence protohistorique, début de la déstabilisation du versant avec accumulation d'un horizon humifère remanié dans le fond du talweg ; **étape 4 :** poursuite de l'érosion, les horizons de sol plus profonds sont atteints et un limon jaune s'accumule dans le talweg ; **étape 5 :** occupation du Haut Moyen Âge ; **étape 6 :** érosion intense, affleurement de la craie en haut de versant, accumulation de limon à gravier de craie masquant totalement le talweg.

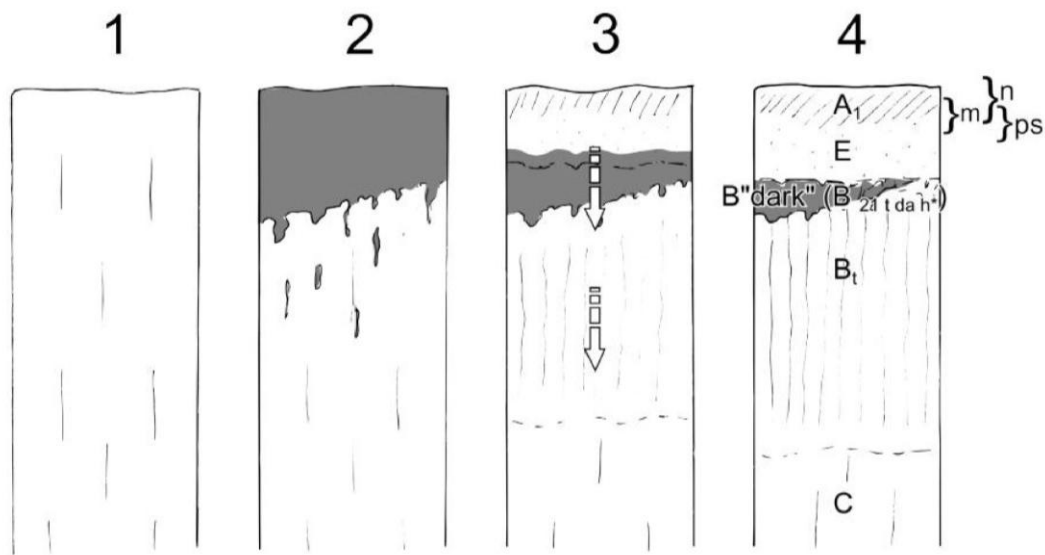


Figure 19. Hypothèse de formation du « B sombre » (dessin L. Deschodt). **Étapes :** 1. loess calcaire. 2. formation d'un horizon humifère épais sur limon calcaire. 3. lessivage, formation de l'horizon E du Bt, d'un réseau polygonal de fissures. 4. état actuel, base de l'horizon humifère originel fixé au sommet du Bt.

3.1. Processus de formation

3.1.1. Phase I : accumulation et incorporation importante de la matière organique décomposée à la surface d'un loess calcaire

Un horizon humifère épais est formé par une importante accumulation et incorporation de la matière organique issue de la végétation (très probablement de type steppique, cf. *supra* : chimie organique et analyses des phytolites) développée à la surface du loess calcaire. Cette matière organique décomposée est sans doute en large partie mélangée au matériau sous-jacent par les animaux fouisseurs, très actifs dans les sols calcaires. Plusieurs causes peuvent être à l'origine de leur mauvaise décomposition (Duchaufour, 1991) :

- l'absence, dans les conditions climatiques et chimico-physiques données, d'une partie au moins de la chaîne biologique de décomposition ;
- la production excessive de litière ;
- le type de litière produite, difficile à décomposer par les organismes présents.

Les reconnaissances de la séquence des événements en lame mince confirment que cet horizon humifère a été formé avant la décarbonatation et est dû à l'accumulation des restes issus de matières organiques dans un tel milieu saturé en calcium (sol de type chernozem ou apparenté). Ceci explique sa forte épaisseur originelle. Par ailleurs, la présence de nombreux animaux fouisseurs ou d'une végétation à enracinement profond pourrait expliquer la base extrêmement irrégulière qui caractérise le plus souvent la base de l'horizon « B sombre ». Ces conditions interviennent probablement aussi dans la durée de formation relativement courte de cet horizon (voir plus loin § 3.3 : Chronologie et environnement). Par ailleurs, certaines conditions pédologiques locales expliquent des vitesses de décarbonatation plus ou moins rapides. Elle a été notamment ralentie en cas de présence initiale de concrétions ou d'inclusions calcaires plus nombreuses, d'un taux initial exceptionnel de calcium ou d'une re-carbonatation du loess par une nappe phréatique perchée.

Pour bien comprendre ce processus pédologique durant la phase originelle de la formation de cet horizon organique, il est utile de mentionner la littérature qui présente une formation similaire dans d'autres régions et à d'autres périodes, parfois plus récentes (cf. *infra* : § 3.2). Schachtschabel *et*

al. (1992 : 412-413) parlent de « Schwarzerden » (terres noires) comme d'un « sol de couleur sombre formé par une intense bioturbation des steppes et steppes forestières ». À noter que la « Schwarzerde » y est définie comme « l'équivalent des chernozems ou des phaeozems de la classification des sols de la FAO, ou comme Vermudols ou Hapludolls du système américain (USDA). Le processus, tel qu'il est observé de nos jours, fait intervenir le hamster (*Cricetus cricetus*) et le souslik (*Citellus*, un petit rongeur fouisseur) qui travaillent de concert avec les vers de terre pour intégrer et mélanger des matières organiques dans le sous-sol, dans la mesure où ces matières organiques ne s'y trouvent pas déjà sous forme de masse racinaire décomposée. À un automne court, un peu plus humide, succède un hiver froid qui s'accompagne de l'arrêt total des activités biologiques. Grâce à ces conditions météorologiques, c'est surtout la décomposition des humines relativement stables et associées aux particules minérales qui est entravée, jusqu'à accumuler beaucoup de matière organique dans la "Schwarzerde" au cours des siècles et millénaires. La sécheresse estivale et le froid hivernal ont obligé ici animaux du sol à atteindre par moments le sous-sol plus profond, ce qui crée un épais horizon "Ah", tout en contrecarrant le processus de décarbonatation » (traduction du premier l'auteur, traduit de Schachtschabel *et al.* (1992 : 412-413). Ces éléments confirmeraient la relative rapidité du processus (voir plus loin § 3.3 : chronologie et environnement).

3.1.2. Phase II : dégradation et conservation partielle de l'horizon « B sombre » lors du lessivage ultérieur

Le lessivage des carbonates de calcium qui suit la formation de l'horizon est bien attesté par les études en lame mince (Langohr & Pajares, 1983), tout comme l'ensemble des processus de lessivage des argiles dans le sédiment devenu neutre à légèrement acide, et des transformations par le gel qui ont suivi (*ibid.*, voir aussi Van Vliet & Langohr 1981 ; Langohr & Sanders, 1985). Ce lessivage des carbonates de calcium implique le passage d'une eau chargée en acides. Ces derniers sont susceptibles d'être fournis par l'humus des couches végétales successives des époques concernées. Les acides peuvent venir de l'humus, mais l'eau de pluie est également légèrement acide (une eau de pluie saturée en CO₂ a un pH de 5,6 environ).

Le lessivage des argiles rendu possible par la décarbonatation se met en place dans les parties du profil dont le pH est devenu neutre, entre 6 et 7 (Duchaufour, 1991 ; Schroeder, 1992 : 60-61, 93-93 ; Schachtschabel *et al.*, 1992 : 134-139). Les colloïdes argileux et organiques se dispersent alors et migrent à un pH entre 6 et 7, formant des revêtements noirs (*coatings* argilo-humiques). Au sein du profil, la profondeur concernée par ce lessivage a varié dans le temps, en fonction de la progression vers le bas du front de décarbonatation. Le lessivage a impliqué entre autres la création progressive d'un horizon supérieur d'exportation d'argile (E) qui a perdu environ 5 à 10 % de son taux d'argile initial, et l'individualisation d'un horizon inférieur d'accumulation d'argile (« B_t ») qui a été enrichi en conséquence d'environ 5 à 10 % d'argile. Au sein de l'horizon E, la plupart des caractéristiques de l'ancien et épais horizon humifère antérieur (« A_h ») ont été perdues (perte d'argile, de fer, de manganèse, décomposition complète de la matière organique). Seule l'éventuelle partie située sous l'horizon « E » a pu garder les caractéristiques de l'horizon de sol noirâtre originel. Dans ce cas, l'accumulation importante d'argile dans la partie supérieure de l'horizon « B_t » a permis de fixer les traits de l'ancien horizon si celui-ci était suffisamment épais à l'origine pour être partiellement affecté par l'enrichissement en argile.

3.1.3. Phase III : surimposition de traits périglaciaires

L'horizon « B sombre » est traversé par des langues de sédiment clair rappelant celui de l'horizon « E ». En plan on observe qu'il s'agit d'un réseau polygonal montrant des polygones d'un diamètre typique de 0.25-0.35m. Ce réseau polygonal est très vraisemblablement lié à la dessiccation associée à la phase froide du Dryas récent (cryo- ou ultra-dessiccation de Van Vliet & Langohr, 1981 ;

Langohr & Pajares, 1983 ; Langohr & Sanders, 1985). Ce recoupement permet de situer l'ensemble des phases antérieures avant le Dryas Récent.

3.1.4. Phase IV : une préservation variable

L'horizon « B sombre » est conservé de manière discontinue. Il a pu être totalement dégradé lorsque le lessivage des argiles et la décomposition complète des matières organiques ont affecté toute son épaisseur. De plus, la préservation des traits spécifiques à cet ancien horizon « B sombre » dépend de l'intensité et de la profondeur de la bioturbation postérieure. Cette dernière est elle-même influencée par la minéralogie, la profondeur de décarbonatation et surtout par l'anthropisation des différents espaces (forêt, pâtures, champs... : cf. par ex. *Fechner et al., 2015*).

3.2. Comparaison avec les sols d'Europe continentale

Le processus de formation de cet horizon a déjà été partiellement décrit dans d'autres aires géographiques. Il correspond en partie à la transformation des matériaux lœssiques calcaires en Luvisol, connu et étudié de longue date en Europe centrale et orientale (par ex. *Mückenhausen, 1975 : 430 et suiv. ; Schalich, 1983 ; Schachtschabel et al., 1992 ; Eckmeier et al., 2007*). On y observe la transformation progressive d'un lœss calcaire à épais horizon humifère (« *Braunerde* ») en un lœss décarbonaté affecté au fur et à mesure par le lessivage des argiles (« *Parabraunerde* »). Dans un contexte bioclimatique continental où la décarbonatation est moins intense et le lessivage moins prononcé, la datation de cette transformation, comprenant la décarbonatation et le lessivage concomitant des argiles au niveau du front de décarbonatation, est considérée comme holocène (*Schalich, 1983* ; datation du phénomène dans le courant du Néolithique). Cet âge récent qui semble prépondérant dans ces milieux continentaux n'est toutefois pas systématique puisque des fragments issus de cette *Parabraunerde* ont été retrouvés dans des structures du Néolithique ancien (*Semmel, 1995*).

En revanche, dans les régions plus proches de la Manche et de l'Atlantique, le climat océanique où le taux annuel de précipitations est très nettement plus élevé que le taux d'évapotranspiration annuel, la décarbonatation est plus rapide. La décarbonatation peut aussi être accélérée par une teneur en CaCO₃ relativement faible des lœss étudiés (env. 15 %, à comparer par exemple aux 30-40 % des lœss alsaciens). Dans cette région, la décarbonatation et le lessivage des argiles sont presque partout des phénomènes antérieurs à l'Holocène (*Van Vliet-Lanoë et al., 1992 ; Van Vliet, 1995 ; Fechner et al., 2010, 2015*). Ceci permet d'attribuer un âge pré-holocène à un horizon de sol formé dans des conditions calcaires.

3.3. Chronologie et environnement

3.3.1. Une genèse à la fin du Pléni-glaciaire ou au début du Tardiglaciaire

Le sol à l'origine de l'horizon « B sombre » s'est développé aux dépens du lœss calcaire à la fin du Pléni-glaciaire ou au début du Tardiglaciaire, avant le lessivage des argiles (**fig. 16 à 19**). Les caractéristiques de l'horizon impliquent :

- une pédogenèse postérieure aux dépôts de lœss ;
- une forte activité biologique et une couverture végétale steppique ;
- une décarbonatation nulle ou très modérée au moment de la formation.
- Après la formation de l'horizon, ont lieu :
 - une décarbonatation favorisée par les acides organiques issus des litières ;

– une migration des argiles favorisée par la neutralisation du pH du sol, et une différenciation en horizons éluviaux appauvris en argile (« E ») et illuviaux enrichis en argile (« B_t ») ;

– un gel profond qui affecte les horizons, accompagné d’indices de lessivage ;

– la fixation des caractères de la base de l’horizon humifère originel sous la forme de l’horizon relique « B sombre » quand celle-ci, assez profonde, coïncide avec le sommet du « B_t ».

Les processus d’intégration profonde de la matière organique par la faune et la flore expliquent que cet horizon s’est formé dans le délai relativement court entre la fin du dépôt des loess (entre 20 000 et 15 000 cal. BP) et la période de développement d’une décarbonatation suffisamment profonde pour être compatible avec la migration d’argile et la formation d’un *luvisol*, période qui a débuté vers 12 300-11 000 cal. BP. Les bornes chronologiques de cette phase peuvent être discutées. En effet, certains auteurs proposent d’avancer nettement la date de la fin des dépôts de *læss* avant 19 400 cal. BP¹⁰ (Haesaerts *et al.*, 2016). D’autre part certains matériaux *læssiques* ont pu être localement remaniés, retardant d’autant la possibilité d’une décarbonatation.

Au vu de ces données, nous proposons la fourchette chronologique suivante. La formation de l’horizon se situerait :

– après la fin du dépôt de *læss*, vers 20000/15000 B.P., sans doute dans de nombreux endroits dès 19 400 cal BP (Haesaerts, 1984 ; Haesaerts *et al.*, 2016) ;

– avant les phénomènes de lessivages et d’accumulations d’argile, datées pour l’essentiel du Bølling (démarrant à env. 14 690 cal. BP) et de l’Allerød (chronozone prenant fin à env. 12 890 cal. BP) (Van Vliet-Lanoë, 1990 ; Van Vliet-Lanoë *et al.*, 1992 ; chronologie selon Pettitt & White, 2012) ;

– et *a fortiori* avant les phénomènes périglaciaires du Dryas récent (chronozone prenant fin à env. 11 650 cal. BP) qui se surimposent aux indices de lessivage (Langohr & Pajares, 1983 ; Langohr & Sanders, 1984, 1985).

Plusieurs âges chronologiques peuvent ainsi être proposés. Nous les passons en revue.

3.2.2. Une genèse au Oldest Dryas et au début du Bølling ?

3.2.2.1. Une décarbonatation irrégulière dans un environnement steppique

D’après Van Vliet-Lanoë *et al.* (1992), la décarbonatation des derniers dépôts de loess aurait débuté précocement, dès le début du Tardiglaciaire, sous une couverture végétale peu abondante, probablement de type toundra. Or la formation de l’horizon « B sombre » nécessite un sédiment calcaire, avec une production d’humus importante.

Plus qu’une stricte végétation de type toundra, sans arbres, le début du Tardiglaciaire, dans la première partie du Bølling, voire au Dryas ancien (ou « Oldest Dryas » de Clark *et al.*, 2019) devait, en raison du temps de latence dans la reconquête de nos latitudes par la végétation arborée, plutôt correspondre à une steppe herbacée ponctuée de bouleaux et de genévriers (Antoine *et al.*, 2000 ; Pastre *et al.*, 2000 ; Limondin-Lozouet *et al.*, 2002 ; Pettitt & White, 2012 : 428-430). Les données en lame mince évoquées rappellent ainsi la végétation connue pour le Dryas ancien (voir plus haut § 2.7). Cette formation végétale est susceptible de former une importante biomasse. Avec le retour de conditions humides et d’une évapotranspiration faible, au Bølling, la décarbonatation du *læss* a pu être rapide, mais elle n’a probablement pas été uniforme. Elle a même pu être faible dans certains points bas (cuvettes topographiques, pieds de versant et talwegs) au moins dans un premier temps, bénéficiant d’un enrichissement relatif en carbonate *via* le transit des éléments dissous plus en amont. D’autres points bas ont également pu voir la décarbonatation minimisée en raison de la proximité de la nappe

¹⁰ Entre autres, par comparaison entre la phase de réchauffement Wartons 3 du site de Maisières-Canal (Belgique), au sommet des *læss* brabantiens et la phase COS IV de la séquence est-carpathes de Roumanie-Ukraine (Haesaerts *et al.*, 2016).

phréatique. Il se pose dès lors logiquement la question de savoir si la répartition actuelle du « B » sombre est exclusivement due à une meilleure conservation post-génétique (érosion holocène) ou si elle tient également à une formation discontinue de la couche d'humus en fonction de la carbonatation du sommet de la séquence de loess.

Dans certaines conditions reconnues dans le nord de la France, les points bas ont pu être ennoyés, formant des plans d'eau avec précipitation travertineuse (**figure 16**) : c'est le cas à Dourges, dans la vallée de la Deûle (Deschodt *et al.*, 2005, 2009) et à Bouvines dans la vallée de la Marque (Deschodt & Salvador 2010).

3.2.2.2. Une formation contemporaine de la mise en place des premières alluvions du Bølling

Présent ponctuellement sur le versant et en pied de versant, et sans doute assez largement répandu à l'origine sur ceux-ci, l'horizon « B sombre » n'est pas observé dans les fonds de vallées actifs. Il peut s'agir d'une difficulté de reconnaissance ou bien d'une érosion par une dynamique fluviale postérieure. Toutefois, dans le nord de la France, dans la cuvette du site de Dourges, aucune de ces explications ne peut être retenue : le contact loess/alluvions du Bølling a été observé en coupe et même si la dépression est par intermittence connectée au réseau hydrographique, elle fonctionne comme un piège sédimentaire où les processus érosifs sont absents. Le limon loessique encaissant a gardé son caractère calcaire (Deschodt *et al.*, 2005, 2009). Aucune pédogenèse n'est observée entre le limon loessique et la tourbe (12 590 ± 150 BP, 15 320-14 190 cal. BP) ni durant la phase lacustre à dépôts travertineux (à partir de 12 430 ± 90 BP, soit 15 000-14 150 cal. BP), contemporains des premiers remplissages de chenaux (Pastre *et al.*, 2003 ; Deschodt *et al.*, 2004). Il semble donc bien que les observations respectives de l'horizon « B sombre » et des premières alluvions du Bølling s'excluent mutuellement (**figure 16**), ce qui peut être concordant avec le développement du « B sombre » pendant les premiers dépôts d'alluvions tardiglaciaires.

3.2.3. Proposition de synthèse chronologique

La formation du sol à l'origine de l'horizon « B sombre » est postérieure à la fin du dépôt de loess datée d'environ 20 000-15 000 cal. BP (Haesaerts, 1984 ; Antoine *et al.*, 1996) et parfois située dès 19 400 BP (Haesaerts *et al.*, 2016). Elle débute avec cette stabilisation de la surface et les conditions favorables au développement d'une végétation (par ex. Pettitt & White, 2012 : 427).

L'horizon « B sombre » se développe sur loess calcaire en contexte de prairie subarctique ou de toundra boisée (présente vers 17 000 cal. BP). Il se développe avant l'augmentation des précipitations et le passage à la forêt claire qui caractérise le Bølling et l'Allerød (« peaks » de pollen arbustif vers 14 500 et 13 000 cal. BP), et avant les phénomènes de lessivages et d'accumulations d'argile, datées pour l'essentiel du Bølling (début à env. 14 690 cal. BP) et de l'Allerød (Van Vliet-Lanoë, 1990, Van Vliet-Lanoë *et al.*, 1992 ; chronologie selon Pettitt & White 2012). Elle est pour le moins terminée lors du dernier refroidissement important ayant affecté nos régions au Dryas récent.

La formation de l'horizon « B sombre » est donc attribuable au Dryas ancien et au début du Bølling et prendrait place aux environs de 17 000-14 500 cal. BP. Le **tableau 4** permet de situer en particulier les résultats obtenus par Brigitte Van Vliet sur les lames minces présentées ici par rapport à plusieurs propositions récentes de chronologie.

Fechner et al. cet article (resultats de Brigitte Van Vliet)	Succession de phénomènes (Pettitt & White 2012)	Chronologie (Pettitt & White 2012)	Chronologie (Roberts 2014, 3e éd.)	Chronologie (Rasmussen et al. 2014 : tab. 2)
BP Cal (ca.)		BP Cal (ca.)	BP Cal (ca.)	BP Cal (ca.)
	Expansion maximale de l'inlandsis britannique (p. 424)	31-16 ka		
	Maximum glaciaire tardif		peak entre 25 000 et 18 000 ans, température la plus basse en 21 ka (p. 92)	
	Série d'améliorations climatiques de faible amplitude et de courte durée (p. 426); chasseurs-cueilleurs du Badegoulien dans le Bassin parisien (p. 426)	après 21 ka, surtout 16 ka		
	La déglaciation en Grande-Bretagne (p. 426)	19 ka		
	Certaines régions du nord-ouest de l'Angleterre ont subi une déglaciation (p. 426)	entre 19 ka et 17 ka		
18.5/17-15/14 ka: vers de type Dendrobeta, Graminée de type Fetuque rouge, Roseaux, Thyphas, Cyperacée, astéracée de type Artemisia	Dryas ancien du stade de Dimlington en Grande-Bretagne (p. 424), Groenland GS2 (p. 427); à Lundin Ower avec une steppe froide dominée par des carex et des graminées et avec des arbustes Juniperus à feuilles persistantes et Salix (saule) sous une forme probablement naine; à Hawes Water Lake (Lancashire) végétation exclusivement herbacée typique des conditions du désert polaire (p. 427); amélioration climatique rapide d'après les mollusques et les ostracodes à Airdale (Yorkshire); limons indiquant des lacs d'eau de fonte à Holderness (Yorkshire) (p. 428). Toundra steppique à végétation arbustive et herbacée avec localement des bouleaux nains, des saules et des genévriers; arrivée de chevaux et de recolonisateurs du Magdalénien supérieur dans le sud de la Grande-Bretagne. Le renne n'est pas présent de façon continue (p. 430)	(avant 14,7 ka)	18-15 ka	17,48 (début du Groenland GS-2.1a)-14,69 ka (début de GI-1e)
	Réintroduction (probablement brève) du renne dans le sud de la Grande-Bretagne (p. 426, 430)	17.2-17.8 ka		
	Amélioration (p. 425), fonte soutenue en Grande-Bretagne (p. 426)	16 ka		
	Le site de Dimlington est déglacé (p. 426)	16 ka		
	Recolonisation précoce de la Scandinavie avec une faune riche (rennes, ...) et des hommes (p. 430)	15 ka		
	Rétablissement des chevaux sauvages en Rhénanie, dans les Ardennes belges et dans le Bassin parisien (p. 430)	15 ka		
	Rétablissement des chevaux sauvages dans le sud de l'Angleterre, dans le nord du Pays de Galles, le sud et le nord du Yorkshire peu après (p. 430)	14.8 ka		
	L'interstade glaciaire tardif (ou de Windermere) en Grande-Bretagne (p. 426)	14.7-12.9 ka		
	Late Glacial Interstadial (p. 428), établissement de plantes ligneuses dans toute la Grande-Bretagne, commençant par un paysage ouvert avec Artemisia, des saules et des bouleaux (comme espèces naines), remplacé par un maquis de genévriers (p. 429).	14.6-11.6 ka		14,69 ka (début du Groenland GI-1e)-11,7 (début de l'Holocène)
	Meiendorf (anciennement Bolling) (p. 426), pic chaud précoce Groenland GI1e (p. 427); probablement de petits peuplements isolés de bouleaux (p. 230)	14.6-14 ka		14,69-14,075 ka (Groenland GI-1e)
	Dryas plus ancien (divisant l'inter-état glaciaire tardif) (p. 426), Groenland GI1d (p. 427); déclin des broussailles basses de genévriers, remplacées par des forêts claires de bouleaux (p. 429)	14-13.9 ka		14,075-13,95 ka (Groenland GI-1d)
	Allerod (p. 426) incluant trois oscillations chaudes (p. 426), Groenland GI1c3, GI1c1 et GI1a, séparées par des périodes froides brèves et de faible amplitude (GI1c2 et GI1b) (p. 427)	13.9-12.9 ka		13,95-12,9 ka (Groenland GI-1a-c)
	Dryas inférieur (Loch Lomond) Stadial (p. 426)	12.9-11.6 ka		12,9 (GS-2)-11,7 (début de l'Holocène)
		Traduit de l'anglais:	https://www.deepl.com/	

Tableau 4. Tentative d'insertion de l'horizon B sombre dans la chronologie du Tardiglaciaire (K. Fechner, C. De Clercq).

4. Proposition de nomenclature

L'horizon « B sombre » étudié est un horizon « B ». En nous basant sur les caractéristiques exposées ci-dessus et sur le manuel descriptif proposé par Roger Langohr (Langohr, 1994), sa nomenclature pourrait être : **B_{21t da h*}** avec la signification suivante :

– **B** : horizon d'accumulation/de transformation éloignée de la surface ;

– **21** : correspondant, au sein de l'horizon « B₂ » (2), où cette transformation est maximale, à la partie sommitale (1). Il est à noter que l'horizon « B₁ » est absent dans le développement de sol tel qu'observé dans les régions concernées ;

– **t** : textural (changement de texture, car enrichi en argile, « Ton » en allemand) ;

– **da** : sombre (« dark » en anglais) ;

– **h** : présence d'humus en place dans cet horizon ;

– ***** : relique, non actif.

5. Conclusion

L'horizon « B sombre » a été utilisé ponctuellement comme repère stratigraphique dans l'étude de sites archéologiques des régions concernées, mais n'a pas encore fait l'objet d'une description précise dans la littérature pédologique. Discontinu, proche de la surface, soumis à l'érosion, polyphasé, il risque d'être confondu avec un horizon riche en manganèse, des « terres noires » anthropogènes ou un paléo-horizon de surface humifère holocène. Toutefois, son occurrence sur de nombreux sites et une première série d'analyses permettent de le caractériser comme suit :

–1. Il est discontinu, apparaît sur de faibles extensions dans les dépressions, talwegs et vallées sèches.

–2. Il est intégré au sommet de l'horizon « B_t » dans des sites sur loess décarbonatés du nord de la France et en Belgique.

–3. Les analyses pédologiques (pédostratigraphie, granulométrie, chimie minérale et premières approches micromorphologiques) permettent de le définir comme la relique d'un horizon humifère (de type *chernozem* ou apparenté), probablement liée à une végétation qui s'est développée sur loess calcaire. Il a par la suite été dégradé par les processus de lessivage qui ont abouti à la formation du sol brun lessivé. Seule sa base a été sporadiquement préservée au niveau du sommet du « B_t ».

–4. Les premiers résultats d'études des phytolithes et de la biochimie moléculaire (chimie organique) l'associent à une végétation steppique.

–5. Nous envisageons une formation de l'horizon au cours du Dryas ancien et/ou de la première partie du Bølling, et ce peut-être dans des zones restreintes, plus longtemps préservées des premières décarbonatations, principalement dans les zones basses.

–6. Il peut être décrit comme **B_{21 t da h*}** selon la nomenclature pédologique détaillée et est dénommé « B sombre » ou « B dark ».

–7. Par leurs faciès et leur évolution, un parallèle peut être fait entre le « B sombre » et le phénomène holocène du passage des « Braunerden » (*chernozem* ou sol apparenté) aux « Parabraunerden » (*Luvissols*) décrit en Europe centrale, intervenu plus tôt dans un contexte plus continental.

L'horizon « B sombre » est un élément important des stratigraphies archéologiques et de l'évolution de sols. Il est toutefois sous-estimé de par sa fréquence et sa faible profondeur et mériterait une attention accrue et des études plus approfondies.

REMERCIEMENTS

La préparation du présent article a bénéficié du soutien du CNRS et de l'INRAP pour l'obtention d'un mois de prise en charge par le CNRS au sein de l'UMR 7041 ArScAn du premier auteur en novembre 2021. Cela n'aurait pas été possible sans l'aide du Professeur Christophe Petit, le directeur de l'équipe « Archéologies environnementales » de l'UMR 7041 ArScAn, Pascal Depaepe, Directeur interrégional des Hauts-de-France à l'INRAP, et Laurent Sauvage, Directeur scientifique et technique pour le Nord-Pas-de-Calais à l'INRAP. Le premier auteur remercie également les membres du jury de sa thèse de doctorat pour leur encouragement à publier les résultats de celle-ci.

Conflit d'intérêts

Aucun conflit d'intérêts n'est à déclarer.

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

- Antoine, P., Fagnart, J.-P., Limondin-Lozouet, N., Munaut, A.-V., 2000. Le Tardiglaciaire du bassin de la Somme : éléments de synthèse et nouvelles données. *Quaternaire*. 11 (2), 85-98.
- Antoine, P., Coutard, S., Guerin, G., Deschodt, L., Goval, E., Locht, J.-L., Paris, C., 2016. Upper Pleistocene loess-palaeosol records from Northern France in the European context: Environmental background and dating of the Middle Palaeolithic. *Quaternary International*. 411 (4-24), <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.11.036>
- Barbet, C., dir., en préparation. *Le site antique et médiéval de Penly (Haute-Normandie)*. Rapport de fouilles, Inrap, Grand-Quevilly.
- Baumann, K., Dignac, M.-F., Rumpel, C., Bardoux, G., Sarr, A., Steffens, M., Maron, P.-A., 2013. Soil microbial diversity affects soil organic matter decomposition in a silty grassland soil. *Biogeochemistry*. 114 (1), 201-212.
- Broes, F., 2013. *Étude pédologique sur le site de Moyencourt (Somme)*, in : Prilaux G., avec la collaboration de Broes, F., Coussot, C., Derreumaux, M., *Canal Seine-Nord Europe, fouille 18, Picardie, Somme, Moyencourt : le site laténo-romain de Moyencourt au lieu-dit « Les Hauts du Bois de Piques » : un lieu de culte atypique chez les Viromanduiens ?*, rapport de fouilles, Inrap, Amiens.
- Broes, F., Fechner, K., Clavel, V., 2018. Cartographie systématique du phosphore dans les habitats néolithiques et de l'âge du Bronze : intérêt et résultats, in : Lemerrier, O., Sénépart, I., Besse, M., Mordant, C. (dir.), *Habitation et habitat du Néolithique à l'âge du Bronze en Fange et des marges. Actes des secondes rencontres nord-sud de Préhistoire récente*, Archives d'Écologie préhistorique, Toulouse, 575-596.
- Chevalier, A., 2015. Annexe 6. Analyses phytolithaires. Carvin (France). Rapport d'analyses (complété par Fechner K. Annexe 5. Tentative de résumé des principaux résultats de l'étude des phytolithes), in : Monchablon, C. (dir.), *Carvin « La Gare d'eau » (Pas-de-Calais) : une enceinte du Néolithique moyen II. Rapport final d'opération de fouille archéologique*, Inrap Hauts-de-France, Villeneuve d'Ascq, 3 vol. : 419 p., 294 p., 188 p.
- Clark, P.U., Shakun Jeremy, D., Baker, P.A., Bartlein, P.J., Brewer, S., Brook, E., Carlson, A.E., Cheng, H., Kaufman, D.S., Liu, Z., Marchitto, T.M., Mix, A.C., Morill, C., Otto-Bliesner, B.L., Pahnke, K., Russell, J.M., Whitlock, C., Adkins, J.F., Blois, J.L., Clark, J., Colman, S.M., Curry, W.B., Flower, B.P., He, F., Johnson, T.C., Lynch-Stieglitz, J., Markgraf, V., McManus, J., Mitrovica, J.X., Moreno, P.I., Williams, J.W., 2012. Global climate evolution during the last deglaciation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 109 (19), <https://doi.org/10.1073/pnas.1116619109>
- Collet, H., Fechner, K., Gillet, E., Henton, A., Laurent, C., Martin, B., Mathieu, S., Van Assche, M., 2017. « *Par monts et par vaux* ». *Suivi archéologique de la pose d'un gazoduc entre Flobecq et Quévy (Ht)*. Fédération des Archéologues de Wallonie et de Bruxelles (Vie archéologique, Bulletin de la Fédération des Archéologues de Wallonie et de Bruxelles), Bas-Oha, 140 p.
- Collette, O., Goffioul, C., 2015. Province de Liège, commune d'Hannut. Futur zoning. Évaluation archéologique de 2013. Les traces de Bdark au service de l'archéologie ? *Chroniques de l'Archéologie en Wallonie*. 23.
- Deschodt, L., 2014. *Chronostratigraphie et paléoenvironnements des fonds de vallée du bassin français de l'Escaut*. Thèse de doctorat en Géographie physique, Paris, université Paris 1.
- Deschodt, L., 2019. Stratigraphie, dynamique fluvio-éolienne et héritages du pléniglaciaire supérieur weichselien dans les basses plaines du bassin français de l'Escaut (nord de la France). *Quaternaire*, 30 (4), 275-310, <https://doi.org/10.4000/quaternaire.12444>

- Deschodt, L., Salvador, P.-G., 2010. L'évolution de la vallée de la Marque dans le secteur de Bouvines (Nord, 59) depuis la fin du Pléni-glaciaire Weichshélien. *Revue du Nord*. 91 (383), 19-27.
- Deschodt, L., Salvador, P.-G., Boulen M., 2004. Formations sédimentaires et évolution de la vallée de la Deûle depuis le Pléni-glaciaire supérieur à Houplin-Ancoisne (Nord de la France). *Quaternaire*. 15 (3), 269-284.
- Deschodt, L., Boulen, M., Cercy, Ch., Dessaux, N., 2006. Nouvelles données archéologiques sur la Deûle lilloise : d'une crise érosive du II^e siècle après Jésus-Christ à l'urbanisation du lit mineur. *Revue du Nord*. 88 (368), 9-31, <https://doi.org/10.3917/rdn.368.0008>
- Deschodt, L., Teheux, É., Lantoine, J., Auguste, P., Limondin-Lozouet, N., 2005. L'enregistrement tardiglaciaire de Dourges (Nord de la France, bassin de la Deûle). Évolution d'une zone lacustre et gisements archéologiques associés. *Quaternaire*. 16 (3), 229-252, <http://quaternaire.revues.org/index457.html>
- Deschodt, L., Teheux, E., Lantoine, J., Limondin-Lozouet, N., 2009. The Dourges's final palaeolithic sites : a lacustrine and marshy area in a lowland of northern France, in : De Dapper, M., Vermeulen, F., Deprez, S., Taelman, D. (dir), *Ol' Man River. Geoarchaeological aspects of rivers and river plains*, Academia Press (Archaeological Reports Ghent University, 5), Gent, 333-361.
- Doutrelepont, H., Fechner, K., Vrielynck, O., Vandromme, P., 2012. Taphonomie des matières organiques dans les tombes mérovingiennes de Moyenne Belgique et du nord de la France : phénomènes pédologiques et études botaniques associées : observations préliminaires, in : Carré, F., Henrion, F. (éds.). *Le bois dans l'architecture et l'aménagement de la tombe : quelles approches ? Actes de la table ronde d'Auxerre, Abbaye Saint-Germain, 15-17 octobre 2009*, Centre d'études médiévales d'Auxerre et la DRAC de Haute-Normandie (Service régional de l'archéologie) (Mémoires publiés par l'Association française d'Archéologie mérovingienne, 23), Auxerre, 75-89.
- Durand, J., Bemilli, C., Boitard-Bidaut, E., Cayol, N., Durand, S., Fechner, K., Maigrot, Y., Praud, Y., Sellami, M.-F., 2008. Difficulté d'identification des sites du Néolithique ancien en contexte de plateau, l'exemple du site de Lieusaint *Centre Commercial 2* et premiers résultats. *Internéo*. 7.
- Durand, J., Durand, S., Fechner, K., Monchablon, C., 2014. Une méthode et un outil cartographique pour faciliter le diagnostic des sites néolithiques sur les plateaux d'Île-de-France, in : Sénépart, I., Praud, I., *Actes du colloque Méthodologie des recherches sur la Préhistoire récente en France. Nouveaux acquis, nouveaux outils (1987-2012). Premières Rencontres nord-sud de Préhistoire récente* (Marseille, 23-24-25 mai 2012), Archives d'écologie préhistorique, Toulouse, 43-56.
- Duchauffour, Ph., 1991. *Pédologie. Sol, végétation, environnement*. Masson, Paris, 3e édition, 289 p.
- Eckmeier, E., Gerlach, R., Gehrt, E., Schmidt, M.W.I., 2007. Pedogenesis of Chernozems in Central Europe — a review. *Geoderma*. 139, 288-299.
- Fechner, K., 1997. Waremme/Oleye : le sol typique du tracé oriental du TGV et ses intérêts archéologiques. *Chronique de l'Archéologie wallonne*. 4-5, 134-135.
- Fechner, K., 1998. Waremme et Remicourt : vers une définition pédologique des sols, des fosses et des fossés du Néolithique ancien le long du tracé oriental du TGV. *Chronique de l'Archéologie wallonne*. 6, 79-81.
- Fechner, K., 2000. Hannut : contribution de l'archéopédologie à la compréhension du site protohistorique de Hannut/Cras-Avernas « Trommenveld ». *Chronique de l'Archéologie wallonne*. 8, 102-103.
- Fechner, K., 2005. Archéopédologie : utilité et résultats pour les fouilles récentes de zones d'activité économique en Wallonie, in : *Actes de la Journée d'Archéologie en Wallonie 2004 ; Recherches archéologiques préalables à l'aménagement des zones d'activité économique*. Association wallonne pour le patrimoine archéologique, Liège, 147-154.
- Fechner, K., 2012. Annexe 9. Données analytiques brutes obtenues pour les sols et sédiments du « Piloni » et de « Coron Maton », ainsi que de sites de comparaison des proches environs (annexes au chapitre 6. Paléoenvironnement), in : Livingstone-Smith, A. (dir.), *Ormeignies « Le Piloni » : un habitat du Néolithique ancien en Hainaut occidental (Ath, Belgique)*, Institut du patrimoine wallon (Études et Documents, Archéologie, 18), Namur, 260-270.
- Fechner, K., 2017, avec la coll. de Audouit, F., Clavel, V., Foubert, R. Rapport de terrain et d'analyses pédologiques du site de Verquin, in : Bak V. (dir), *Verquin, ZAC du Beau Pré*, rapport de fouilles, Inrap Hauts-de-France, Glisy, 1 vol.
- Fechner, K., 2019, avec la coll. de Barbet, C., Sadou, A.-N. *Bilan des observations de terrain et des premiers tests sur les sédiments sombres du fond de vallon sec de Penly/Petit Caux (Haute-Normandie)*, Inrap, Amiens/Rouen, 10 p.

- Fechner, K., 2021. *Contribution de l'archéo-pédologie et de la stratigraphie à l'interprétation fonctionnelle et environnementale des structures du Néolithique et du Bronze ancien entre Rhin et Seine*. Thèse de doctorat en archéologie, Paris, université de Paris Panthéon-Sorbonne, 1201 p.
- Fechner, K., 2022 [2023], avec la coll. de Foubert, R. « Terres noires », horizons très sombres et activités agropastorales au Néolithique ancien : premiers éléments issus d'une synthèse des données archéopédologiques entre Moselle et Seine (B-LU-FR). *Notae Praehistoricae*. 42, 149-164.
- Fechner, K., Deflorenne, C. (dir.), 2023. *Rencontres archéo-environnementales autour des structures anthropiques*. Mergoil, Drémil-Lafage, 405 p, 2 annexes en ligne.
- Fechner, K., Menbrivès, C., 2023, avec la coll. de Broes, F., Doutrelepon, H. (†), Vrielynck, O. Le bois dans un état de conservation inattendu. À la recherche des traces d'aménagements néolithiques et protohistoriques sur sols acides bien drainés (Belgique, nord de la France), in : Bacoup, P., Taieb, J. (éd.), *Journées bois. Échanges interdisciplinaires sur le bois et les sociétés. Actes des rencontres internationales des 18-19 octobre 2021*. INHA (numéro spécial de la revue *Archéologie, société et environnement*, 3 (1)), 12-38, <https://www.calameo.com/iste-group/read/00584164632af95d3155c>
- Fechner, K., Schartz, E., 2000, avec la coll de Doutrelepon, H., Slachmuylder, J.-L. *L'étude archéo- et géo-pédologique du tracé du T.G.V. en Wallonie*. Deuxième rapport intermédiaire de la convention 1999-2000, 2000, 206 p.
- Fechner, K., Langohr, R., 1994. Sols anthropiques et alluvions anciennes sur le site de Remerschen-Schengerwis : une longue histoire faite d'événements naturels et humains (état de la question). *Bulletin de la Société préhistorique luxembourgeoise*. 15, 99-113.
- Fechner, K., Langohr, R., 1998. Utilisation des sédiments, fonction des fosses et choix des sols dans l'habitat rubané. État de la question (Tracé wallon du TGV, Belgique et alentours de la moyenne Moselle, France et Luxembourg), in : Cauwe, N., Van Berg, P.-L. (dir.), avec la coll. de Hauzeur A., *Organisation de l'espace en Europe du nord-ouest. Actes du XXXIIIe Colloque interrégional sur le Néolithique, Bruxelles, 24-26 octobre 1997*. Société royale belge d'anthropologie et de Préhistoire (Anthropologie et préhistoire, 109), Bruxelles, 121-140.
- Fechner, K., Deligne, F., Fercoq de Leslay, G., 2004, avec la coll. de Munaut A.V.. L'environnement de l'occupation celtique du site de Ribemont-sur-Ancre. État de la question. Lunula. *Archaeologica protohistorica*. 14, 147-159.
- Fechner, K., Bosquet, D., Blancquaert, G., 2006, en coll. avec Fock, H., Langohr, R., Slachmuylder, J.-L., Vrydaghs, L., Doutrelepon, H. Indices pédologiques liés au (re)creusement et à l'utilisation des fosses : les cas exemplaires de Remicourt (Néolithique ancien, Wallonie, Belgique) et Dourges (La Tène, Pas-de-Calais, France), in : Frère-Sautot M.-Ch. (dir.), *Des trous... Structures en creux pré- et protohistoriques. Actes du colloque de Dijon et Baumeles-Messieurs, 24-26 mars 2006*. Montagnac, Mergoil (Préhistoires, 12), 47-74.
- Fechner, K., Decocq, O., Deligne, F., avec la coll. de Boulén, M., Figueiral, I., Harmand, D., Matteredne, V., Naton, H.-G., Peuchot, R., Sordoillet, D., Tegel, W., Vanmoerkerke, J., 2008. Les sols noirs en relation avec l'homme sur le tracé champenois du TGV-Est. Compréhension pédologique et malacologique. Essai d'interprétation archéologique, document final de synthèse, Inrap, Chalons-en-Champagne, 2 vol., 249, 96 p.
- Fechner, K., Mestdagh, H., Bosquet, D., 2010, en coll. avec Haesaerts, P., Langohr, R., Louwagie, G., Schartz, E. Étude pédologique et micromorphologique, in: Bosquet, D. (dir.), avec la coll. de Beugnier, V., Collette, O., Fechner, K., Heim, J., Jadin, I., Mestdagh, H., *Le site mésolithique ancien du « Spinoi » à Rebecq (Brabant wallon)*, Institut du patrimoine wallon (Etudes et Documents, Archéologie n°16), Namur, 27-43.
- Fechner, K., Baes, R., Louwagie, G., Gebhardt, A., 2014, avec la coll. de Deschodt, L., Bécu, B., Schartz, E. Relic Holocene buried colluvial and alluvial deposition in the basins of the Scheldt, the Meuse, the Seine and the Rhine (Belgium, Luxembourg 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. Conference Brussels, 28-30 avril 2008*, VIOE (Relicta Monographien, 9), Bruxelles, 147-190.
- Fechner, K., Broes, F., Clavel, V., 2015. Des sols « lessivés ». L'évolution différentielle des sols et de l'érosion depuis 3000 ans dans le Nord de la France, in : Beck, C., Guizard, F., Heude, J. (dir.), *Sols en mouvement. Actes des Rencontres internationales de Liessies 2014*. Université de Lille (Hors-série, Revue du Nord, 23), Lille, 41-57.

- Fechner, K., Bosquet, D., Broes, F., 2019, avec la coll. de Burnez-Lanotte, L., Clavel, V., Deschodt, L., Doutrelepont, H., Hulin, G., Hus, J., Langohr, R., Mikkelsen J.H. Reconstruction des modes de vie au Néolithique et au Bronze ancien : synopsis des apports récents des études pédologiques entre Rhin et Seine, in : Deák, J., Ampe, C., Mikkelsen, J.H. (dir.), *Soils as records of Past and Present. From soil surveys to archaeological sites: research strategies for interpreting soil characteristics*. Archaeology, Monuments and Landscapes of Bruges and Hinterland, Brugge, Raakvlak, 209-230, <http://doi.org/10.5281/zenodo.3420903> .
- Feray, Ph., 2005. Aougny « Bois de la Vente » (Marne). Un site de préparation au façonnage de haches taillées de la fin du Néolithique. *Bulletin de la Société Archéologique Champenoise*. 98, 58-65.
- Ganssen, R., Hädrich, F., 1965. *Atlas zur Bodenkunde*. Bibliografisches Institut, Mannheim, 86 p.
- Godard, C., Gonnet, A., Fechner, K., avec la coll. de Granai, S., Coubray, S., accepté. Nogent-sur-Seine (Aube), site du Cardinal II : des fosses pré- et protohistoriques comme témoins de l'évolution des sols et des paysages à l'Holocène. *Bulletin de la Société préhistorique française*.
- Haesaerts, P., 1984. Aspects de l'évolution du paysage et de l'environnement en Belgique au Quaternaire, in : Cahen, D., Haesaerts, P. (dir.), *Peuples chasseurs de la Belgique préhistorique dans leur cadre naturel*, Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, Bruxelles, 27-40.
- Haesaerts, P., 1985. Les loess du Pléistocène supérieur en Belgique. Comparaisons avec les séquences d'Europe centrale. *Bulletin de l'Association française pour l'étude du quaternaire*. 22, 105-115.
- Haesaerts Paul, Mestdagh Hans, Bosquet Dosquet 1997. La séquence de Remicourt (Hesbaye, Belgique). *Notae Praehistoricae* 17, p. 45-52.
- Haesaerts, P., Damblon, F., Gerasimenko, N., Spagna, P., Pirson, S., 2016. The Late Pleistocene loess-palaeosol sequence of Middle Belgium. *Quaternary International*. 30, <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.02.012>
- Jabiol, B., Brêthes, A., Brun, J.-J., Ponge, J.-Fr., Toutain, F., et al. 2009. Typologie des formes d'humus forestières (sous climats tempérés), in : Association française pour l'Étude du Sol, Baize, D., Girard, M.-Cl. (dir.), *Référentiel pédologique 2008*, éditions Quae (Savoir-faire), Versailles, 327-355.
- Langohr, R., 1994. Directives and rationale for adequate and comprehensive field soil data bases, in : Cleemput, O., *New Waves in Soil Science. Refresher Course for Alumni of the International Training Centre for Post-Graduate Soil Scientists of the Ghent University*, Gadjah Mada University, Faculty of Agriculture, Department of Soil Science (Publication series, 5), Yogyakarta, 176-191.
- Langohr, R., 2001. L'anthropisation du paysage pédologique agricole de la Belgique depuis le Néolithique ancien. Apports de l'archéopédologie. *Étude et gestion des sols*. 8 (2), 103-118.
- Langohr, R., Pajares, J., 1983. The Chronosequence of Pedogenetic Processes in Fraglossudalfs of the Belgian Loess Belt, in : Bullock, P., Murphy, C.P. (dir.), *Soil Micromorphology*, vol. 2: *Soil Genesis*, A.B. Academic Publishers, Berkhamsted, 503-510.
- Langohr, R., Sanders, J., 1985. The Belgian Loess Belt in the Last 20 000 years: evolution of soils and relief in the Zonien Forest, in : Boardman, J. (dir.), *Soils and Quaternary Landscape Evolution*, Wiley, Chichester, 359-371.
- Langohr, R., Sanders, J., 1984. Apport de la pédologie à la reconstruction du paléoenvironnement en Belgique au Quaternaire, in : Cahen, D., Haesaerts, P. (dir.), *Les peuples chasseurs de la Belgique préhistorique dans leur cadre naturel*, Bruxelles, I.R.S.N.B., 41-57.
- Laurent, C., Fechner, K., Defgnée, A., 2012, avec la coll. de Fanchon, D., Doutrelepont, H., Slachmuylder, J.-L. Chapitre 6. Paléoenvironnement, in : Livingstone-Smith, A. (dir.), *Ormeignies « Le Pilon » : un habitat du Néolithique ancien en Hainaut occidental (Ath, Belgique)*, Institut du patrimoine wallon (Études et Documents, Archéologie, 18), Namur, 160-200.
- Lavrieux, M., Jacob, J., Le Milbeau, C., Zoccatelli, R., Masuda, K., Bréheret, J.G., Disnar, J.R., 2011. Occurrence of triterpenyl acetates in soil and their potential as chemotaxonomical markers of Asteraceae. *Organic Geochemistry*. 42, 1315-1323.
- Leroy-Langelin, E. (dir.) 2015. *ZAC Lauwin-Planque. Le Néolithique*, rapport de fouille, Douai, Communauté d'agglomération du Douaisis (Direction de l'archéologie préventive, Service régional de l'archéologie, Douai), 168 p.

- Limondin-Lozouet, N., Bridault, A., Leroyer, Ch., Ponel, Ph., Antoine, P., Chaussé, Ch., Munaut, A.-V., Pastre, J.-F., 2002. *Évolution des écosystèmes de fond de vallée en France septentrionale au cours du Tardiglaciaire : l'apport des indicateurs biologiques*, in : Bravard, J.-P., Magny, M. (dir.), *Les Fleuves ont une histoire. Paléoenvironnement des rivières et des lacs français depuis 15000 ans. Actes du colloque de Metz « Paléohydrologie des 15 derniers millénaires » du 21-23 juin 2001*, Errance, Paris, 2002, 45- 62.
- Louwagie, G., Langohr, R., 2000. Annoeullin « Rue Lavoisier ». Rapport archéopédologique, in : Praud, I. (dir.), *Des occupations mésolithique et néolithique à Annoeullin « Rue Lavoisier » (zone 1) (59011001) (Nord)*. Document final de synthèse, AFAN Nord-Picardie/Service régional de l'archéologie, Lille.
- Martial, E. (dir.), en préparation. *Le site de Houplin-Ancoisne « Rue Marx-Dormoy » (Nord)*. Document final de synthèse, Inrap, Villeneuve d'Ascq.
- Martial, E., Praud, I., 2007, avec la coll. de Boulen, M., Braguier, S., Deschodt, L., Fechner, K., Maigrot, Y., Sellami-Dietsch, M.-F. Un site palissadé du Néolithique final à Houplin-Ancoisne (Nord), in : Le Brun-Ricalens, F., Valotteau, F., Hauzeur, A. (dir.), *Relations interrégionales au Néolithique entre Bassin parisien et Bassin rhénan, Actes du 26e colloque interrégional sur le Néolithique, Luxembourg, 8 et 9 novembre 2003*, Musée national d'Histoire et d'Art du Luxembourg (Archaeologia Mosellana, 7), Luxembourg, 9-49.
- Michel, L., 2004. *Fontaine-Notre-Dame « le petit fontaine »*, RFO de diagnostic de l'opération, déposé en 2004 au SRA Nord-Pas-de-Calais, Villeneuve d'Ascq/Lille.
- Monchablon, C., 2015 (dir.). *Carvin « La Gare d'eau » (Pas-de-Calais) : une enceinte du Néolithique moyen II*. Rapport final d'opération de fouille archéologique, INRAP Hauts-de-France, Villeneuve-d'Ascq, 3 vol. : 419 p., 294 p., 188 p.
- Monchablon, C., Baillieu, M., Bouchet, M., Goutelard, A., Praud, I., 2011. L'enceinte Néolithique moyen II de Carvin « La Gare d'eau » (Pas-de-Calais). Présentation préliminaire, in : Bostyn, F., Martial, E., Praud, I. (dir.), *Le Néolithique du nord de la France dans son contexte européen : habitat et économie aux 4^e et 3^e millénaires avant. Actes du 29^e Colloque interrégional sur le Néolithique, Villeneuve d'Ascq 2-3 octobre 2009*, Société archéologique de Picardie (numéro spécial de la Revue archéologique de Picardie. 28), Amiens, 407-435.
- Mückenhausen, E., 1975. *Die Bodenkunde und ihre geologischen, geomorphologischen, mineralogischen und petrologischen Grundlagen*, DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- Oyama, M., Takehara, H., 1967. *Revised Standard Soil Color Charts (Munsell code)*, s.l.
- Pastre, J.-F., Leroyer, C., Limondin-Lozouet, N., Orth, P., Chaussé, C., Fontugne, M., Gebhardt, A., Hatte, C., Krier, V., 2000. Le Tardiglaciaire des fonds de vallée du Bassin parisien (France). *Quaternaire*. 11 (2), 107-122.
- Pastre, J.-Fr., Limondin-Lozouet, N., Leroyer, Ch., 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.
- Pettitt, P., White, M., 2012. *The British Palaeolithic: Human Societies at the Edge of the Pleistocene World*. Routledge, Abingdon, 583 p.
- Praud, I., 2004. *Santes (Nord)*, ZAC « Les Jardins du Blanc Balot », Rapport de diagnostic, Amiens/Lille, 81 p.
- Praud, I. (dir.), 2007. *Le site de Houplin-Ancoisne « Marais de Santes » (Nord)*, Document final de synthèse, Inrap, Villeneuve-d'Ascq, 2 vol. (290 p., 279 p. de pl.).
- Praud, I. (dir.), 2015. *Le Néolithique final dans la vallée de la Deûle. Le site d'Houplin-Ancoisne « Le Marais de Santes » (Nord)*, INRAP/ CNRS Éditions, Paris, 341 p.
- Prilaux, G., Barbet, C., Untereiner, B., 2016. *Canal Seine-Nord Europe, fouille 32, Nord-Pas-de-Calais, Pas-de-Calais, Marquion et Sauchy-Lestrée : du Néolithique à l'Antiquité tardive : les occupations de la plate-forme multimodale de Sauchy-Lestrée/Marquion (62) : rapport de fouilles. VI, Des tombes monumentales pour des habitants privilégiés ? : regards sur les espaces domestiques et funéraires antiques des secteurs 21 et 22-23 : rapport de fouilles*, Inrap NP, CSNE, Amiens, Croix-Moligneaux, 3 vol. : 375 p., 359 p., 317 p.
- Rabbi, S.M.F., Warren, C.R., Swarbrick, B., Minasny, B., McBratney, A.B., Young, I.M., 2024. Microbial decomposition of organic matter and wetting-drying promotes aggregation in artificial soil but porosity increases only in wet-dry condition. *Geoderma*. 447, 116924.
- Rasmussen, S.O., Bigler, M., Blockley, S., et al., 2014. A stratigraphic framework for abrupt climatic changes during the Last Glacial period based on three synchronized Greenland ice-core records: Refining and extending the INTIMATE event stratigraphy. *Quaternary Science Reviews*. 106, 14-28, <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.09.007>

- Reddy, K.R., Feijtel, T.C., Patrick, W.H., 1986. Effect of soil redox conditions on microbial oxidation of organic matter, in : Chen, Y., Avnimelech, Y. (dir.), *The Role of Organic Matter in Modern Agriculture*, Springer Netherlands (Developments in Plant and Soil Sciences), Dordrecht, 117-156.
- Roberts, N., 2014. *The Holocene: an environmental history* (3^e éd.), John Wiley & sons, Ltd, Oxford, 98 p.
- Schalich, J., 1983. Boden -und Landschaftsgeschichte des bandkeramischen Gräberfeldes in Niedermerz, in : *Archäologie in den rheinischen Lössbörden. Beiträge zur Siedlungsgeschichte im Rheinland*, Rheinland-Verlag (Rheinische Ausgrabungen, 24), Cologne.
- Schachtschabel, P., Blume, H.P., Brümmer, G., Hartge, K.-H., Schwertmann, U., 1992. *Scheffer/Schachtschabel. Lehrbuch der Bodenkunde* (13^e édition révisée), Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 491 p.
- Schroeder, W.E.H., 1992. *Bodenkunde in Stichworten*, Hirt, Berlin/Stuttgart, 176 p.
- Semmel, A., 1995. Bodenkundliche Hinweise auf Ackernutzung und intensive Bodenerosion um 8000 B.P. im Rhein-Main-Gebiet. *Archäologisches Korrespondenzblatt*. 25, 157-163.
- Shakun, J.D., Carlson, A.E., 2010. A global perspective on Last Glacial Maximum to Holocene climate change. *Quaternary Science Reviews*. 29 (15–16), 1801-1816.
- Trendel, J.M., Schaeffer, Ph., Adam, P., Ertlen, D., Schwartz, D., 2010. Molecular characterization of soil surface horizons with different vegetation in the Vosges Massif (France). *Organic Geochemistry*. 41, 1036-1039.
- Van Vliet, B., Langohr, R., 1981. Correlation between fragipans and permafrost, with special reference to Weichsel silty deposits in Belgium and northern France. *Catena*. 8, 137-54.
- Van Vliet-Lanoë, B., 1990. The genesis and age of the argillic horizon in Weichselian loess of northwestern Europe. *Quaternary International*. 5, 49-56.
- Van Vliet-Lanoë, B., 1995. Solifluxion et transferts illuviaux dans les formations périglaciaires litées. État de la question. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*. 2, 85-113.
- Van Vliet-Lanoë, B., Fagnart, J.-P., Langohr, R., Munaut, A.-V., 1992. Importance de la succession des phases écologiques anciennes et actuelles dans la différenciation des sols lessivés de la couverture lœssique d'Europe occidentale : argumentation stratigraphique et archéologique. *Science du sol*. 30 (2), 75-93.
- Vermeersch, P.M, 1981. Magdalénien à Kanne et à Orp, in : *Actes du XLV^e Congrès de la Fédération des Cercles d'archéol. et d'histoire de Belgique (Comines 28 -31.VII.1980)*, vol. 2, Comines, Société d'Histoire de Comines-Warneton, 205-213.
- Vyslouzilova, B., 2014. *Steppes ou forêts ? : les conditions environnementales de la formation et de l'évolution des chernozems en Europe Centrale*. Thèse de doctorat, Strasbourg/Prague, université de Strasbourg, Univerzita Karlova.
- Vyslouzilova, B., Ertlen, D., Sefrna, L., Novak, T., Viragh, K., Rue, M., Campaner, A., Dreslerov, D., Schwartz, D., 2015. Investigation of vegetation history of buried chernozem soils using near-infrared spectroscopy (NIRS). *Quaternary International*. 365, 203-211.