



HAL
open science

Waziers le Bas-Terroir. Un gisement eemien du Nord de la France

Laurent Deschodt, David Hérison

► **To cite this version:**

Laurent Deschodt, David Hérison. Waziers le Bas-Terroir. Un gisement eemien du Nord de la France. Quaternaire, 33, pp.223-345, 2022, Tome 1, 10.4000/quaternaire.17129 . hal-03925557

HAL Id: hal-03925557

<https://hal.science/hal-03925557v1>

Submitted on 5 Jan 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

QUATERNAIRE

Revue de l'Association Française pour l'Étude du Quaternaire - CNF INQUA

International Journal of the French Quaternary Association - CNF INQUA

WAZIERS LE BAS-TERRAIRE UN GISEMENT EEMIEN DU NORD DE LA FRANCE



TOME 1

sous la direction de
Laurent Deschodt et David Hérissou



QUATERNAIRE

Conseil de l'Association et Comité de Rédaction / *Association's Board and Drafting Committee*

C. CROUZET, J. DABKOWSKI, L. DESCHODT, M. DUVAL, J. ETOURNEAU, S. GRANAI,
M. LIARD, P. MARTINERIE, O. MOINE, D. MOURALIS, G. RIXHON,
M.-F. SÁNCHEZ-GOÑI, C. SKONIECZNY, H. TISSOUX, V. VILLA., P. WUSCHER

Bureau / *Bureau*

Présidente / *President*: Maria Fernanda SÁNCHEZ-GOÑI, EPHE, PSL, UMR EPOC, Université de Bordeaux, allée Geoffroy Saint-Hilaire, FR-33615 Pessac (maria.sanchez-goni@u-bordeaux.fr)

Vice-Président / *Vice president*: Olivier MOINE, Laboratoire de Géographie Physique, 1 place Aristide Briand, FR-92195 Meudon cedex (olivier.moine@lgp.cnrs.fr)

Secrétaire / *Secretary*: Valentina VILLA, CEPAM, UMR 7264, Université Côte d'Azur, 24 avenue des Diables Bleus, FR-06300 Nice (valentina.villa@cepam.cnrs.fr)

Trésorier / *Treasurer*: Patrice WUSCHER, LIVE, Faculté de Géographie, 3 rue de l'Argonne, FR-67000 Strasbourg (patrice.wuscher@archeologie.alsace)

Directeur des relations internationales / *Director of international relations*: Johan ETOURNEAU, EPHE, PSL, UMR EPOC, Université de Bordeaux, Allée Geoffroy St Hilaire, FR-33615 Pessac (johan.etourneau@u-bordeaux.fr)

Rédacteur en chef / *Editor in Chief*: Damase MOURALIS, Université de Rouen-Normandie, UMR 6266 IDEES, rue Lavoisier, FR-76821 Mont-Saint-Aignan cedex (damase.mouralis@univ-rouen.fr)

Adjoints à la Publication / *Assistants of Publication*

Adjointe au Rédacteur en chef / *Assistant Editor*: Julie DABKOWSKI, Laboratoire de Géographie Physique, 1 place Aristide Briand, FR-92195 Meudon cedex (julie.dabkowski@lgp.cnrs.fr)

Secrétaire d'édition en chef / *Editorial board director*: Hélène TISSOUX, BRGM, Unité Géologie de l'Aménagement des Territoires, 3 avenue Claude-Guillemain, BP 36009, FR-45060 Orléans cedex 2 (h.tissoux@brgm.fr)

Secrétariat d'édition / *Editorial board*:

Christian CROUZET, Université Savoie Mont Blanc, Campus Savoie Technolac, FR-73376 Le Bourget-du-Lac (christian.crouzet@univ-smb.fr)

Laurent DESCHODT, INRAP, 11 rue des Champs, FR-59650 Villeneuve d'Ascq (laurent.deschodt@inrap.fr)

Mathieu DUVAL, Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana (CENIEH). Paseo Sierra de Atapuerca, 3. ES-09002 Burgos (mathieu.duval@cenieh.es)

Morgane LIARD, INRAP, 525 avenue de la Pomme de Pin, FR-45590 Saint-Cyr-en-Val (morgane.liard@inrap.fr)

Comité éditorial / *Editorial committee*

ANDRIEU-PONEL V.
(Marseille)

AUGUSTE P.
(Lille)

BOUDAD L.
(Rabat, Maroc)

BOUT-ROUMAZEILLES V.
(Lille)

CUENCA-BESCÓS G.
(Saragosse, Espagne)

DE DECKKER P.
(Canberra, Australie)

DELAGNES A.
(Bordeaux)

DELANNOY J.-J.
(Le Bourget-du-Lac)

FAGNART J.-P.
(Amiens)

FAUST D.
(Dresde, Allemagne)

FERRIER C.
(Bordeaux)

FRANCUS P.
(Québec, Canada)

GALOP D.
(Toulouse)

GENTY D.
(Bordeaux)

GIACCIO B.
(Rome, Italie)

GIBBARD P.
(Cambridge, R.-U.)

GUIOT J.
(Aix-en-Provence)

HATTÉ C.
(Gif-sur-Yvette)

LAMOTHE M.
(Montréal, Canada)

LEFÈVRE D.
(Montpellier)

LERICOLAIS G.
(Brest)

LIMONDIN-LOZOUET N.
(Meudon)

MERCIER N.
(Bordeaux)

ORSI A.
(Gif-sur-Yvette)

PATOU-MATHIS M.
(Paris)

PIRSON S.
(Liège, Belgique)

PONEL P.
(Marseille)

RITZ J.-F.
(Montpellier)

SCHOENEICH P.
(Grenoble)

SCHREVE D.C.
(Londres, R.-U.)

VANDEBERGHE J.
(Amsterdam, Pays-Bas)

VELLA C.
(Aix-en-Provence)

VERRECCHIA E.
(Lausanne, Suisse)

VIDAL L.
(Aix-en-Provence)

WILLIAMSON D.
(Bondy)

ZÖLLER L.
(Bayreuth, Allemagne)

La correspondance relative à la publication est à adresser au Directeur de la publication, les règlements et les commandes au Trésorier, et toute autre correspondance à la Secrétaire / *Correspondence concerning publication should be addressed to the Director of the publication, payments and orders to the Treasurer, and any other correspondence to the Secretary.*

Adhésion à l'AFEQ & Abonnement à Quaternaire / *AFEQ membership & Quaternaire subscription*

	Adhésion + Abonnement <i>Membership + Subscription</i>	Adhésion simple <i>Membership only</i>	Abonnement simple France <i>Foreign country</i>	
Personnes physiques / <i>Persons</i>				
Normal / <i>Normal</i>	60 €	20 €		
Spécial* / <i>Special*</i>	40 €			
Personnes morales / <i>Institutions & libraries</i>			80 €	90 €

Prix TTC. . Paiements par virement sur le CRÉDIT COOPÉRATIF (Strasbourg) n°0802534663 (IBAN FR76 4255 9100 0008 0253 4663 177, BIC: CCOPFRPPXXX) ou par chèque à l'ordre de l'AFEQ / Prices including taxes. From foreign countries, payments by bank transfer on CRÉDIT COOPÉRATIF (Strasbourg) n°0802534663 (IBAN FR76 4255 9100 0008 0253 4663 177, BIC: CCOPFRPPXXX).

***Tarif spécial étudiants, hors statuts et seniors** (avec photocopie de la carte d'étudiant en cours de validité) / *Special price for students, non-academic staff and seniors* (with the copy of a valid student card).

Photo de couverture / *Cover picture*: Wazier, le Bas-Terroir. Luc Vallin, SRA-DRAC Hauts-de-France

Conception et réalisation de la couverture / *Coverage design and implementation*: André ZETLAOUI

Volume 33 - Numéro 4 - 2022

Trimestriel - Décembre

ISSN 1142 -2904

QUATERNAIRE

International Journal of the French Quaternary Association - *CNF INQUA*

Revue soutenue par l'Institut des Sciences Humaines et Sociales du CNRS

Maison de la Géologie
79, rue Claude Bernard
75005 PARIS

BULLETINS de l'AFEQ (1964-1989) & QUATERNAIRE (1990-) FASCICULES DISPONIBLES / AVAILABLE ISSUES

FASCICULES SIMPLES / SINGLE ISSUES

1969 3, 4; 1970 4; 1972 3, 4 – 1 € / fascicule / issue

1973-1989: Série complète sauf / Full collection except: 1973 3, 1976 1, 1977 1/2 & 1981 3/4 – 1 € / fascicule sauf fascicules doubles ou triples (voir ci-dessous) / issue except double or triple issues (see below)

1990-2015: Série complète sauf / Full collection except: 1990 1, 1990 3/4, 1993 2/3, 2003 1 & 2017 1

Prix du fascicule / Price per issue: 1990-2007 – 1 €, à partir de / since 2008 – 10 €

COLLECTIONS (sauf fascicules épuisés) / COLLECTIONS (except out of print issues)

BULLETIN DE L'AFEQ 1973-1989 – 30 € (+ frais de port / shipping)

QUATERNAIRE 1990-2000 – 40 € (+ frais de port / shipping)

BULLETIN DE L'AFEQ & QUATERNAIRE 1973-2000 – 60 € (+ frais de port / shipping)

DÉTAIL DES NUMÉROS SPÉCIAUX / DETAIL OF SPECIAL ISSUES

1969 supplément: Stratigraphie des lœss (Congrès INQUA 1969) – 4 €

1969 supplément: Etudes sur le Quaternaire dans le Monde (2 volumes) (Congrès INQUA 1969) – 4 €

2004 H.S. 1: Dépôts de pente continentaux. Dynamique et faciès – 10 € (AFEQ) et 20 € (non AFEQ)

2005 H.S. 2: Les Ongulés holarctiques du Pliocène et du Pléistocène – 5 € (AFEQ) / 10 € (non AFEQ)

2010 H.S. 3: V^e Conférence Internationale sur les mammouths et leur famille – 10 € (AFEQ) / 15 € (non AFEQ)

2011 H.S. 4: 16^e Symposium International de l'Ours des cavernes d'Azé en 2010 – 35 € (AFEQ) / 45 € (non AFEQ)

2012 H.S. 5: Conty, vallée de la Selle (Somme, France): séquence tardiglaciaire de référence et occupations préhistoriques – 35 € (AFEQ) / 45 € (non AFEQ)

1974 3/4: Quaternaire et Paléolithique des Bassins de la Somme et de la Basse Seine – 2 €

1975 3/4: Le Piémont quaternaire de la Garonne – 2 €

1976 3/4: Le périglaciaire en Bourgogne – 2 €

1978 1/2/3: Quaternaire N. France et S. Belgique – 3 €

1979 1/2: Les méthodes de datation – 2 €

1980 1/2: Evolution du milieu naturel durant les 10 000 dernières années – 2 €

1981 1: Géologie de l'ingénieur – 1 €

1981 2: Variations du niveau marin et conséquences en morphologie littorale – 1 €

1982 2/3: Chronostratigraphie et environnement du Paléolithique dans la France septentrionale, le Bassin parisien et les régions avoisinantes – 2 €

1982 4: Pléistocène du littoral de Bretagne – 1 €

1983 2/3: Le Villafranchien méditerranéen – 2 €

1985 2/3: Relations dynamiques et chronologiques entre formations glaciaires et périglaciaires – 2 €

1986 1/2: Oscillations climatiques entre 125 000 ans et le maximum glaciaire – 2 €

1986 3/4: Paléoaérosols dans les sédiments et sols quaternaires – 2 €

1987 3: Expérimentation et analyses de processus dans l'étude des milieux quaternaires – 1 €

1988 2/3: Modalités et chronologie de la déglaciation würmienne dans l'arc alpin occidental et les massifs français – 2 €

1989 3: Méthodologie et applications de la Néotectonique – 1 €

1994 3/4: Echelle des variations chronoclimatiques quaternaires, réponses des environnements – 2 €

1995 2: Echelle des variations chronoclimatiques quaternaires, réponses des environnements – 1 €

1996 2/3: Les dépôts de mise en place brutale – 2 €

1997 2/3: Karst et archéologie – 2 €

1998 1: Hommes et volcans – 1 €

1998 3: Corrélations entre séries quaternaires – 1 €

1998 4: Faune et archéologie – 1 €

1999 1: Déglaciation des hautes vallées montagnardes. Torrentialité – 1 €

1999 2/3: Séquences littorales – 2 €

2000 2: Le Tardiglaciaire en France septentrionale – 1 €

2001 1/2: Paléoenvironnements holocènes et géoarchéologie – 2 €

2002 1: Paléorivages de Casablanca, stratigraphie et Préhistoire ancienne au Maroc atlantique – 1 €

2002 3/4: Événements rapides, instabilités, changements culturels au Quaternaire – 2 €

2004 1/2: Fluvial Archives Group – 2 €

2005 3 & 4: Q4 – Continuités et discontinuités dans les enregistrements quaternaires (2 n°) – 2 €

2006 2 & 4: Tufs calcaires et travertins quaternaires (2 n°) – 2 €

2006 3: Le Pléistocène supérieur de Normandie et du Nord de la France – 1 €

2007 1, 2 & 4: Q5 - Le Quaternaire: Limites et spécificités (3 n°) – 3 €

2008 2: Téphras et séquences quaternaires – 10 €

2009 1: Les systèmes fluviaux des bassins versants de la Moselle et du Rhin (France, Allemagne, Luxembourg) – 10 €

2009 3: Quaternaire et préhistoire ancienne de Normandie – 10 €

2009 4: Biochronologie et grands Mammifères – 10 €

2010 1, 3 & 4: Q6 – Biodiversité au Quaternaire. Climats, environnements et peuplements (3 n°) – 30 €

2011 3 & 4: Q7 – Biogéosystèmes continentaux quaternaires. Variabilité climatique et anthropisation (2 n°) – 20 €

2012 2 & 3: RQM5 – Paléoenvironnements et Préhistoire du Quaternaire marocain et méditerranéen (2 n°) – 20 €

2013 2 & 4: Q8 – Variabilité spatiale des environnements quaternaires. Contraintes, échelles et temporalités (2 n°) – 20 €

2013 3: Hommage à Jean-Pierre Lantier: périglaciaire, chronostratigraphie et préhistoire – 10 €

2014 2: Paysages et paléoenvironnements quaternaires de la Provence aux Alpes occidentales – 10 €

2015 2: Fluvial Archives Group: Global Continental Palaeo-Hydrology – 10 €

2015 3 & 4: Q9 – Le Quaternaire: marqueurs, traceurs et chronomètres (2 n°) – 20 €

2016 3: Reconstitutions des variations climatiques quaternaires: diversité et complémentarité des méthodes – 10 €

2017 2: Q10 – Paléoclimats et environnements quaternaires, quoi de neuf sous le soleil? Un panorama de la recherche actuelle sur le Quaternaire – **Gratuit**

2017 3: Q10 – Archives géologiques et paléontologiques quaternaires, quoi de neuf sous le soleil? – 10 €

2018 1: Taphonomie, Environnement & Archéologie – 10 €

2018 3: Vertébrés pléistocènes: Hommage à Claude Guérin – 10 €

2019 1: Evolution de l'environnement et archéologie du littoral nord-médocain (Gironde, France): Résultats du Projet LITAQ – 10 €

2019 2: Au Centre des enjeux. Q11 Orléans, 13-15 février 2018 – 10 €

2019 4: Les plaines du nord de la France et leur bordure. Hommage à Jean Sommé – 10 €

COMMANDES ET RÈGLEMENTS À ADRESSER AU TRÉSORIER ORDERS AND PAYMENTS TO BE SENT TO THE TREASURER

Patrice WUSCHER, LIVE, Faculté de Géographie, 3 rue de l'Argonne, FR-67000 Strasbourg (patrice.wuscher@archeologie.alsace).
Règlement par virement sur le CRÉDIT COOPÉRATIF (Strasbourg) n°0802534663 (IBAN FR76 4255 9100 0008 0253 4663 177, BIC: CCOPFRPPXXX) ou par chèque à l'ordre de l'AFEQ ou par chèque établi à l'ordre de l'AFEQ (chèques étrangers non acceptés). / From foreign countries, payments by bank transfer on CRÉDIT COOPÉRATIF (Strasbourg) n°0802534663 (IBAN FR76 4255 9100 0008 0253 4663 177, BIC: CCOPFRPPXXX).

WAZIERS LE BAS-TERROIR, UNE ZONE PÉRI-URBAINE PAS TOUT À FAIT COMME LES AUTRES AVANT-PROPOS

Laurent DESCHODT^{1,2} & David HÉRISSON³

WAZIERS LE BAS-TERROIR, A PERI-URBAN AREA NOT QUITE LIKE OTHERS. FOREWORDS

L'endroit n'est pas pittoresque. Il ne se distingue pas particulièrement de nombreuses autres zones péri-urbaines de ville moyenne de la France métropolitaine avec leurs mitages d'habitations et de magasins. Une autoroute, la « rocade minière-A21 », borde un champ labouré. Quelques centaines de mètres plus loin, elle franchit la Scarpe, une petite rivière canalisée. Ses rives en batardeaux, sa surface lisse et, surtout, l'absence de tout versant perceptible dans le paysage pourraient faire croire qu'elle est un simple canal, une pure création humaine adaptée au besoin du commerce et de l'industrie. Le passé minier de la région a laissé sa trace à travers d'anciennes citées minières proches et un petit terriil depuis longtemps végétalisé de l'autre côté de la rocade. Nous sommes dans le nord de la France, quelques kilomètres au nord de la ville de Douai, sur le territoire de la commune de Waziers, au lieu-dit du Bas-Terroir.

Qui aurait pu imaginer que ce petit bout de plaine sans rien de notable, en apparence, et destiné à être transformé en zone commerciale avait tant de choses en lui, tant de choses à nous apprendre sur le dernier Interglaciaire et sur la Préhistoire ? Qui aurait pu imaginer qu'une tourbe du Pléistocène pourrait être la véritable terre rare de ce territoire de gueules noires ? Saturne, dieu terrible et sévère qui pousse dans l'oubli êtres et choses, sait être aussi quelque peu taquin. Du crible du temps il conserve des fragments du passé incroyablement précieux qu'il muche dans des endroits parfois bien inattendus. Dès lors c'est à nous, pauvres mortels, à savoir les trouver, les reconnaître, les étudier, les comprendre et les faire connaître.

De la découverte du gisement du Bas Terroir en 2013 à la présente publication, nombreuses sont les personnes qui ont permis, facilité ou participé à la réalisation de ce travail : les bénévoles qui ont œuvrés sur les fouilles, les agents et conservateurs du Ministère de la Culture, les archéologues de la communauté d'agglomération (C.A.D.-D.A.P. puis Direction de l'Archéologie Préventive de Douaisis Agglo), les archéologues de l'Institut National de Recherches en Archéologie Préventive, les maires successifs de la ville de Waziers

et les acteurs des services municipaux, les propriétaires des terrains, les différents chercheurs et laboratoires du Centre National de la Recherche Scientifique, sans oublier les chercheurs étrangers et leurs institutions.

La présente publication sur la Formation de Waziers se compose de deux fascicules de *Quaternaire* publiés à cheval sur 2022 et 2023. Elle délivre les premiers résultats issus des deux des campagnes de fouilles 2014 et 2015 sur le Bas-Terroir. Le premier fascicule débute par un article (Hérisson *et al.*, 2022) qui prend le temps de remercier chacun des intervenants après avoir fait un nécessaire historique des différentes interventions et recherches menées durant la dernière décennie. La lithostratigraphie générale et la définition de la Formation de Waziers sont présentées dans le deuxième article (Deschodt *et al.*, 2022). La suite du premier fascicule traite des études géophysiques (Hulin & Virmoux, 2022), des probabilités d'âge (Bahain *et al.*, 2022), des études palynologiques (Gauthier, 2022), des études malacologiques (Limondin-Louzouet, 2022), des restes de macro- et méso-faune (Auguste *et al.*, 2022) et de la reconstitution des paléotempératures (Maréchal *et al.*, 2022).

Dans le deuxième fascicule devraient être présentés les analyses paléoprotéomiques (Bray *et al.*, soumis), la micro-faune (Lebreton *et al.*, accepté), les macro-restes végétaux (Audiard *et al.*, soumis, les données archéologiques et archéozoologiques (Hérisson *et al.*, soumis) et un article de synthèse (Deschodt *et al.*, soumis). Une présentation des ressources documentaires accessibles en ligne (*data paper*) terminera le fascicule.

Des efforts personnels et collectifs importants ont été nécessaires pour aboutir à cette publication. Elle pointe la richesse de la Formation de Waziers qui est, à notre avis, un gisement majeur pour l'étude du dernier Interglaciaire dans le nord-ouest de l'Europe. Toutefois il ne doit pas faire oublier que cette moisson est issue de la fouille d'une infime partie des alluvions conservées. Bien des interrogations demeurent sur l'extension réelle de cette section de vallée, son évolution, sur les Hommes qui l'ont fréquentée... Les réponses sont là, juste sous nos pieds et dans des caisses de prélèvement conservées en

¹ INRAP Hauts-de-France, 32 Avenue de l'Etoile du Sud, 80440 FR-GLISY. Courriel : laurent.deschodt@inrap.fr

² CNRS-UMR 8591 - Univ. Paris 1-UPEC, Laboratoire de Géographie Physique, Environnements Quaternaires et actuels. CNRS, 2 Rue Henri Dunant, FR-94320 THIAIS Cedex

³ CNRS-UMR7041 ArScAn, équipe AnTET. MSH Mondes. 21 allée de l'Université. FR-92023 NANTERRE Cedex. Courriel : david.herisson@cnrs.fr

chambre froide. À nous de nous en saisir collectivement pour écrire l'histoire que nous conte une autre terre noire. Dans cette zone péri-urbaine que rien ne semble pourtant distinguer d'une autre se cachent encore des trésors de connaissances. Et ch'a, ch'est pas des carabistouilles !

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AUDIARD B., HÉRISSON D., THÉRY-PARISOT I., CHICA-LEFORT T., POIRIER P., ALI A., GUITTON V., DESCHODT L., **soumis** - Restes ligneux et macro-restes végétaux du gisement eemien de Waziers Le Bas-Terroir : premiers résultats et perspectives d'apport. *Quaternaire*.
- AUGUSTE P., SÉVÈQUE N. & LOUGUET S., 2022 - La mésofaune et macrofaune mammalienne de Waziers (Nord), Le Bas-Terroir. Données Paléontologiques. *Quaternaire*, 33 (4), 311-322.
- BAHAIN J.-J., GHALEB B., SHAO Q. & FALGUÈRES C., 2022 - Datation du site de Waziers (Nord de la France) par uranium-thorium (U-Th) et résonance de spin électronique combinée à l'uranium-thorium (ESR/U-Th). *Quaternaire*, 33 (4), 279-290.
- BRAY F., FLAMENT S., FABRIZI I., ROLANDO C., AUGUSTE P., **soumis** - Paléoprotéomique appliquée au site de Waziers, Le «Bas-terroir» (Nord). *Quaternaire*.
- DESCHODT L., ANTOINE P., JAMET G., PETITE Y., HÉRISSON D., COUTARD S. & LIMONIN-LOZOUET N., 2022 - Waziers (Plaine de la Scarpe, Nord de la France) : synthèse lithostratigraphique des observations effectuées de 2011 à 2015. *Quaternaire*, 33 (4), 247-272.
- GAUTHIER A., 2022 - Dynamique de la végétation et changements environnementaux en réponse aux variations climatiques de la fin du Saalien à l'Eemien : résultats de l'analyse palynologique. *Quaternaire*, 33 (4), 291-300.
- DESCHODT L., HÉRISSON D., ANTOINE P., LOCHT J.-L., GAUTHIER A., LIMONIN-LOZOUET N., AUGUSTE P., BAHAIN J.-J., GHALEB B., MARÉCHAL C., VALLIN L., LEBRETON L., AUDIARD B., HULIN G., JAMET G., SHAO Q., FALGUÈRES C., LÉCUYER C., AMIOT R., FOUREL F., STOETZEL E., BAILLON S., MASSON B., COUTARD S., SÉVÈQUE N., LOUGUET S., PETITE Y., VIRMOUX C. **soumis** - Waziers Le Bas-Terroir (plaine de la Scarpe, nord de la France) : synthèse des études sur les observations 2011-2015 et mise en évidence d'un enregistrement sédimentaire continu de la fin du saalien (SIM 6) à l'optimum eemien (SIM 5e). *Quaternaire*.
- HÉRISSON D., DESCHODT L., ANTOINE P., LOCHT J.-L., LACROIX S., SERGENT A., PETITE Y., VALLIN L., RORIVÉ S., SIMON F., 2022 - Waziers, Le Bas-Terroir : historique de dix années de recherches archéologiques et géomorphologiques dans les antiques vasières de la Scarpe (2011-2021). *Quaternaire*, 33 (4), 225-246.
- HULIN G. & VIRMOUX C., 2022 - Waziers «Bas-Terroir» : les explorations géophysiques. *Quaternaire*, 33 (4), 273-278.
- HÉRISSON D., AUGUSTE P., DESCHODT L., LOCHT J.-L., SÉVÈQUE N., VALLIN L., LOUGUET S., MASSON B., **soumis** - Waziers, Le Bas-Terroir : un nouveau gisement archéologique témoignant de passages discrets mais récurrents de Néandertaliens depuis le Tardiglaciaire du SIM 6 à l'optimum eemien (SIM 5e) dans le Nord de la France. *Quaternaire*.
- LEBRETON L., STOETZEL E., & BAILLON S., **accepté** - Waziers, Le Bas-Terroir : Les petits vertébrés et reconstitution de l'environnement local. *Quaternaire*.
- LIMONIN-LOZOUET N., 2022 - Waziers (Plaine de la Scarpe, Nord de la France) : données malacologiques. *Quaternaire*, 33 (4), 301-310.
- MARÉCHAL C., LÉCUYER C., AMIOT R., FOUREL F., ANTOINE P., AUGUSTE P., DESCHODT L. & HÉRISSON D., 2022 - Waziers (France) : les isotopes de l'oxygène des dents de grands mammifères pour reconstruire les paléotempératures de l'avant-dernière transition glaciaire/interglaciaire (SIM 6/5). *Quaternaire*, 33 (4), 323-340.

WAZIERS, LE BAS-TERROIR : HISTORIQUE DE DIX ANNÉES DE RECHERCHES ARCHÉOLOGIQUES ET GÉOMORPHOLOGIQUES DANS UN MARAIS PLÉISTOCÈNE DE LA PLAINE DE LA SCARPE (2011-2021)

David HÉRISSEON¹, Laurent DESCHODT^{2,3}, Pierre ANTOINE³, Jean-Luc LOCHT^{2,3}, Samuel LACROIX⁴, Angélique SERGENT⁵, Yann PETITE⁶, Luc VALLIN⁷, Sylvie RORIVE⁸, Frédéric SIMON^{9,5} & Camille NOÛS¹⁰.

RÉSUMÉ

La région des Hauts-de-France a livré ces trente dernières années un nombre conséquent d'occupations néandertaliennes attribuées au Paléolithique moyen, corrélées à la fin du Pléistocène moyen et au début du Pléistocène supérieur. Malgré ces nombreuses découvertes, l'Eemien – le dernier Interglaciaire (129-116 ka) – demeure une période méconnue sur le plan paléoenvironnemental et anthropologique, constat valable pour la moitié Nord de la France mais également pour l'ensemble de l'Europe du Nord-Ouest et même plus largement pour l'Europe occidentale. Dans le présent article, nous retraçons l'histoire de la découverte d'une nouvelle formation eemienne, jusqu'ici inédite, à Waziers (Nord). Elle prend une importance particulière de par la bonne préservation et la diversité des restes organiques ainsi que par la présence d'éléments archéologiques. Malgré de nombreuses difficultés, les résultats acquis au bout de dix années d'exploration (2011-2021) à Waziers sont abondants et de qualité. Ils sont issus d'opérations plurielles, dirigées par plusieurs acteurs appartenant à différentes institutions et co-signataires du présent article. Nous avons souhaité reprendre ici l'historique des découvertes et des opérations afin de présenter clairement les apports de chaque intervention. Le but est aussi de montrer l'importance de la complémentarité des observations et le caractère crucial de la collaboration des acteurs archéologiques dans l'exploitation de telles découvertes. La documentation recueillie pendant cette décennie d'investigations est de toute première importance car rarissime pour reconstituer les comportements des Néandertaliens, les paysages et environnements qu'ils ont parcourus et exploités au cours du Tardiglaciaire du MIS 6 et pendant l'interglaciaire eemien. Le gisement de Waziers rejoint la liste des sites remarquables pour l'étude du Paléolithique dans le nord de la France (i.e. complexe de sites de Cagny, Caours, Biache-Saint-Vaast ou Renancourt) et rappelle par bien des aspects, notamment la qualité de préservation de ses vestiges organiques (surtout végétaux) et par l'étendue des dépôts pléistocènes préservés, un autre gisement paléolithique d'exception en Europe occidentale, le complexe de sites de Schöningen.

Mots-clés : Eemien, Néandertal, fouilles préventives, fouilles programmées, tourbe, Scarpe

ABSTRACT

WAZIERS, LE BAS-TERROIR: HISTORY OF TEN YEARS OF ARCHAEOLOGICAL RESEARCH IN A PLEISTOCENE MARSH OF THE SCARPE PLAIN (2011-2021)

Over the past thirty years, the Hauts-de-France region has produced a significant number of Neanderthal occupations attributed to the Middle Palaeolithic, correlated with the end of the Middle Pleistocene and the beginning of the Upper Pleistocene. Despite these numerous discoveries, the Eemian - the last Interglacial (129-116 ka) - remains a little-known period on the palaeoenvironmental and anthropological level, an assessment valid for the northern half of France but also for the whole of North-western Europe, and more broadly for Western Europe. In this paper, we retrace the history of the discovery of a new, hitherto unknown, Eemian formation at Waziers (*Nord*). It takes on particular importance due to the good preservation and diversity of organic remains as well as the presence of archaeological elements. Despite many difficulties, the results obtained after ten years of exploration (2011-2021) at Waziers are abundant and of high quality. They are the result of several operations, led by several actors belonging to different institutions and co-signatories of this paper. We wanted to review here the history of discoveries and operations in order to clearly present the contributions of each intervention. The aim is also to show the importance of the complementarity of observations and the crucial nature of the collaboration of archaeological actors in the exploitation of such discoveries. The documentation collected during this decade of investigations is of prime importance because it is extremely rare to reconstruct the behavior of Neanderthals, the landscapes and environments they traversed and exploited during the Late Glacial of MIS 6 and the Eemian Interglacial. The site of Waziers joins the list of remarkable sites for the study of the Palaeolithic in the North of France (ie complex of sites of Cagny, Caours, Biache-Saint-Vaast or Renancourt) and is reminiscent of many aspects, in particular the quality preservation of its organic remains (especially plant) and by the extent of the preserved Pleistocene deposits, another exceptional Palaeolithic site in Western Europe, the Schöningen site complex.

Keywords : Eemian, Neanderthal, preventive archaeology, scheduled excavation, peat, Scarpe valley

¹ CNRS-UMR7041 ArScAn, équipe AnTET, MSH Mondes, 21 allée de l'Université, FR-92023 NANTERRE Cedex. *Courriel :* david.herisson@cnrs.fr

² INRAP Hauts-de-France, 32 Avenue de l'Etoile du Sud, FR-80440 GLISY. *Courriel :* laurent.deschodt@inrap.fr; jean-luc.locht@inrap.fr

³ CNRS-UMR 8591 - Laboratoire de Géographie Physique, Environnements Quaternaires et Actuels, 2 rue Henri Dunant, FR-94320 THIAIS. *Courriel :* pierre.antoine@lgp.cnrs.fr

⁴ Communauté d'Agglomération de Béthune-Bruay, Artois Lys Romane – Direction de l'archéologie 100, avenue de Londres CS 40548 – FR-62411 BÉTHUNE Cedex. *Courriel :* lacroix.samuel@bethunebruay.fr

⁵ CNRS-UMR 8164 - HALMA, Université de Lille, Campus Pont-de-bois, Rue du Barreau, BP 60149, FR-59653 VILLENEUVE D'ASCQ Cedex. *Courriel :* angesergent@hotmail.com

⁶ Service Archéologie, Métropole Nice Côte d'Azur, 107 route de Canta Galet, FR-06200 NICE. *Courriel :* yann.petite@nicedadur.org

⁷ DRAC Hauts-de-France, Service Régional de l'Archéologie, 1-3 rue du Lombard, CS 80016, FR-59041 LILLE Cedex. *Courriel :* luc.vallin@culture.gouv.fr

⁸ Service Recherche et Conservation, Forum Antique de Bavay, Département du Nord, Hôtel du Département, 51 rue Gustave Delory, FR-59047 LILLE Cedex. *Courriel :* sylvie.rorive@lenord.fr

⁹ INRAP Hauts-de-France, Centre de recherches archéologiques d'Achicourt 11 rue Planquettes FR-62217 ACHICOURT. *Courriel :* frederic.simon@inrap.fr

¹⁰ Laboratoire Cogitamus. *Courriel :* camille.nous@cogitamus.fr

1 - INTRODUCTION

La région des Hauts-de-France a livré ces trente dernières années un nombre conséquent d'occupations néandertaliennes attribuées au Paléolithique moyen (280-40 ka) et corrélées à la fin du Pléistocène moyen et au début du Pléistocène supérieur (Locht *et al.*, 2016). Malgré ces nombreuses découvertes, l'Eemien – le dernier Interglaciaire (129-116 ka) – demeure une période méconnue sur le plan paléoenvironnemental et également anthropologique, à cause de la rareté des contextes favorables à la préservation de ces dépôts interglaciaires et des gisements archéologiques associés. Ce constat est valable pour la moitié Nord de la France mais également pour l'ensemble de l'Europe du Nord-Ouest et plus largement pour l'Europe occidentale. La découverte de formation eemienne et de gisement archéologique ou paléontologique associé reste exceptionnelle et devient par conséquent un événement majeur pour la reconstitution de notre passé. Ce fut le cas en 2003 avec la (re)découverte de la séquence de tuf eemienne de Caours dans la Somme et de ses niveaux d'occupation (Antoine *et al.*, 2006). Dans le présent article, nous retraçons l'histoire de la découverte d'une autre formation eemienne, jusqu'ici inédite, à Waziers (Nord). Elle prend une importance toute particulière de par la bonne préservation et la diversité des restes organiques ainsi que par la présence d'éléments archéologiques. Au-delà de la satisfaction de transmettre à la communauté scientifique cette nouvelle pierre pour construire sur de solides fondations nos connaissances de l'Eemien, il convient de replacer le contexte général dans lequel se sont déroulées ces dix années de recherche.

Tout d'abord, comme en témoigne le découpage de l'article, les recherches ont pris des formes diverses sur le terrain et toutes les opportunités pour récupérer des données sur la zone ont été exploitées, que ce soit en contexte préventif comme programmé, et dans ce dernier cas avec parfois des conditions à la limite de celles d'une archéologie de sauvetage. Rappelons que l'archéologie préventive concerne les interventions dans le cadre d'aménagement du territoire, avec financement par les aménageurs, tandis que l'archéologie programmée est financée par des fonds publics et prend place généralement dans des zones moins menacées. L'impossibilité de fouiller dans un cadre préventif les occupations paléolithiques en 2013 (en raison de leur enfouissement sous les fonds de forme des projets) a amené à des négociations incessantes avec les aménageurs pour s'insérer autant que possible dans le programme d'aménagement de la Z.A.C. du Bas-Terroir, puis avec les exploitants agricoles sur les parcelles contiguës susceptibles d'être à court terme concernées par d'autres aménagements. Le cadre d'intervention en archéologie programmée, où réactivité et moyens à disposition (surtout mécaniques) sont éloignés des standards du préventif, s'est révélé peu adapté à ce type d'opérations. Toutefois, la prise en compte de l'intérêt de la zone et la réactivité du Service Régional de l'Archéologie (S.R.A) ont été salutaires. Les recherches présentées ici n'auraient simplement

pas existé sans l'investissement des agents et le soutien financier du S.R.A. Mais tout positif que fût le rôle du S.R.A., les difficultés d'accès aux terrains ont constitué dès l'invention du gisement une limitation majeure et persistante, avec des négociations longues, souvent stériles, l'impossibilité de programmer réellement les interventions et l'absence de maîtrise dans le choix des zones à investiguer. Cette incertitude permanente a été un frein important aux développements des recherches.

À ces contraintes externes, se sont ajoutées dans un premier temps, il ne faut pas le cacher, des difficultés de collaboration en raison notamment de passif(s) entre les structures dans un secteur d'archéologie préventive en tension. Il a fallu que chacun fasse preuve d'ouverture pour qu'une relation de confiance s'installe et aboutisse à une collaboration fructueuse dont les présents résultats témoignent.

Hors terrain, un autre frein assez inattendu a été la difficulté à trouver des spécialistes de certains indicateurs paléoenvironnementaux ou archéologiques rares, voire jamais étudiés pour le Pléistocène, car non préservés dans la très grande majorité des cas, à l'instar des macrorestes végétaux ou des insectes, pour ne citer que ces derniers.

Malgré toutes ces difficultés, les résultats acquis au bout de dix années d'exploration au Bas-Terroir à Waziers sont abondants et de qualité. Ils sont issus d'opérations plurielles, dirigées par plusieurs acteurs appartenant à différentes institutions et co-signataires du présent article. Nous avons souhaité reprendre ici l'historique des découvertes et des opérations afin de présenter clairement les apports de chaque intervention. Le but est aussi de montrer l'importance de la complémentarité des observations et le caractère crucial de la collaboration des acteurs de l'archéologie dans l'exploitation de telles découvertes. À ce premier article qui reprend tout l'historique succède un second qui exploite les informations d'ordre stratigraphique et aboutit à une synthèse lithostratigraphique (Deschodt *et al.*, 2022). Ces deux premiers articles établissent le cadre des différentes études présentées dans les articles suivants.

2 - LOCALISATION GÉOGRAPHIQUE ET CONTEXTE GÉOLOGIQUE DE LA ZONE DU BAS-TERROIR À WAZIERS

2.1 - LOCALISATION DU BAS-TERROIR À WAZIERS

La ville de Waziers est localisée dans le département du Nord, immédiatement au nord-est de la ville de Douai (fig. 1). La zone du Bas-Terroir (50°23'33.5"N, 3°06'48.2"E) est définie dans le cadre de nos recherches comme l'espace encadré par la route de Tournai et la rue Maurice Facon à l'ouest, la rue Marcel Bultez au sud, les rues Jules Ferry et Abel Depret à l'est, et enfin la ruelle

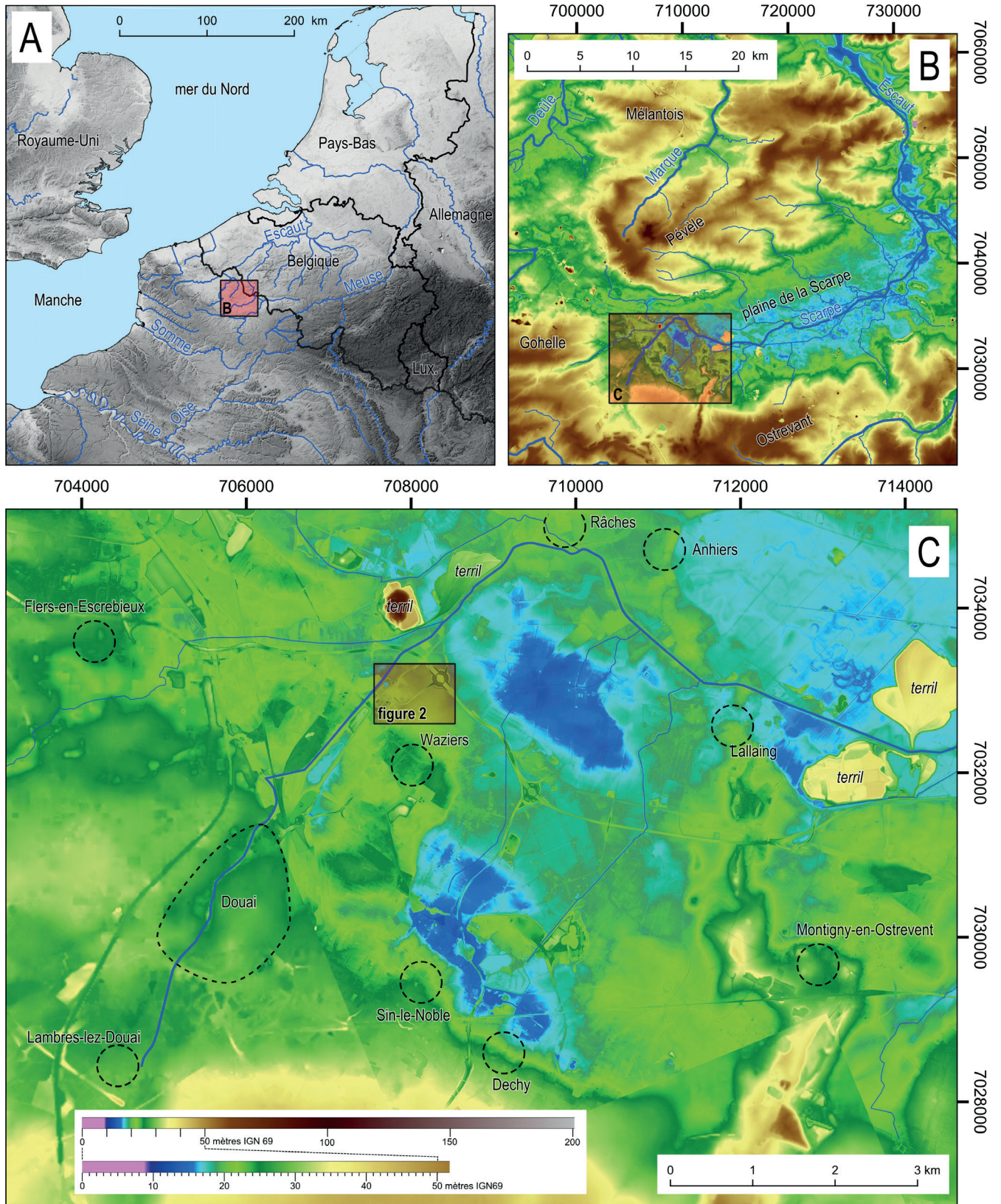


Fig. 1 : Localisation du gisement de Waziers, le Bas-Terroir.

Coordonnées en mètres Lambert 93. (A) Au sein d'une partie de l'espace de l'Europe du Nord-Ouest et du bassin de l'Escaut, et localisation de la zone présentée dans le carton B. MNT d'après SRTM3, PPIGE NPDC-GRID 2012-2013, modèle géologique 3D de la Flandre (v1.2011) (modifié), BD alti 25 (IGN) et ERRUISOL (Région Wallonne). (B) Dans son contexte morphologique régional, même échelle orographique que le carton C. MNT d'après PPIGE NPDC-GRID 2012-2013, Lidar Scarpe (DREAL Nord-Pas-de-Calais) et ERRUISOL (Région Wallonne). (C) Localisation des figures 2 et 3 en bordure de la plaine de la Scarpe, MNT d'après PPIGE NPDC-GRID 2012-2013 et Lidar Scarpe (DREAL Nord-Pas-de-Calais).

Fig. 1: Location of the site of Waziers, Le Bas-Terroir. Lambert 93 meters survey. (A) Within part of North-western Europe area and the Scheldt basin, and location of the area shown in window B. DEM according SRTM3, PPIGE NPDC-GRID 2012-2013, 3D geologic model of Flander (v1.2011) (modified), BD alti 25 (IGN) and ERRUISOL (Région Wallonne). (B) Location of C frame in regional morphologic context, same orographic scale than C frame, DEM according PPIGE NPDC-GRID 2012-2013, Lidar Scarpe (DREAL Nord-Pas-de-Calais) and ERRUISOL (Région Wallonne). (C) Location of the figures 2 and 3 on the Scarpe river plain fringe, DEM according PPIGE NPDC-GRID 2012-2013 and Lidar Scarpe (DREAL Nord-Pas-de-Calais).

Madame au nord, soit un espace d'environ 1,25 km² (en moyenne 1,5 km de long sur un axe SO-NE pour 850 m de large sur axe NO-SE). L'essentiel des recherches archéologiques retracées ici a été effectué sur la Z.A.C. dite du «Bas-Terroir», une zone commerciale d'environ 500 m sur 200 m (100 000 m²) qui s'étend au sud de la route montante (D917) desservant la rocade minière A21 (fig. 2).

2.2 - LA RIVIÈRE SCARPE-SCARBUS ET LA PLAINE DE LA SCARPE

Le lieu-dit du Bas-Terroir se situe à environ 300 m du cours actuel de la Scarpe, à son entrée dans la plaine du même nom (fig. 1).

La plaine est alimentée par de petits cours d'eau provenant du plateau de la Gohelle (Escrèbieux), et de la Pèvèle (Ruisseau de Coutiches, Courant de l'Hôpital, Elnon). La Scarpe, aujourd'hui canalisée, est le cours d'eau le plus important et draine une partie de l'Artois

avant de rejoindre l'Escaut à l'extrémité nord-est de la plaine. Toutefois, le tracé actuel de la Scarpe, avec son bassin artésien, résulte d'une capture anthropique médiévale via le seuil de Vitry-en-Artois (Louis, 1990; Louis & Collette, 2009). La rivière antérieure à la capture (que nous dénommons Scarpe-Scarbus pour éviter tout risque de confusion avec la Scarpe actuelle; Deschodt, 2014) prenait sa source aux environs de Lambres-Lez-Douai, à environ 6 km en amont de Waziers (fig. 1). Les dépôts alluviaux pléistocènes observés à Waziers sont donc associés à cette modeste rivière Scarpe-Scarbus pour un bassin versant de l'ordre de 70 km².

La basse plaine de la Scarpe se développe sur environ 40 km de long et 10 km de large (fig. 1) à la faveur des affleurements de dépôts marins paléocènes meubles (majoritairement les «sables d'Ostricourt», sable glauconieux thanétien), entre l'Ostrevent et la Gohelle (régions crayeuses au sud et au sud-ouest) et la colline de la Pèvèle au nord (développée principalement dans l'«Argile d'Orchies» yprésienne). Le remblaiement



Fig. 2: Localisation des différentes opérations d'archéologie préventive et programmées ayant eu lieu sur la zone du Bas-Terroir à Waziers de 2011 à 2021.

En rouge, les limites de la zone dite du «Bas-Terroir»; en bleu, les limites de la Z.A.C. du Bas-Terroir; en rose en pointillés larges, l'emprise du diagnostic archéologique préventif de 2011; en rose en pointillés ponctuels, l'emprise du diagnostic archéologique préventif de 2013; en vert, l'emprise des secteurs 1 et 2 de la fouille archéologique préventive de 2013; en noir, les emprises des fouilles archéologiques programmées de 2014-2015 et de 2017; en gris foncé, la bande diagnostiquée en sondages programmés de 2015; en rose en ligne continue, l'emprise du diagnostic archéologique préventif de 2020. Fond cartographique: OpenStreetMap. D.A.O.: D. Hérisson.

Fig. 2: Location of the different preventive and scheduled archaeological operations that took place in the Bast-Terroir area in Waziers from 2011 to 2021, without geophysical surveys. In red, limits of the area called «Bas-Terroir»; in blue, limits of the «Z.A.C. du Bas-Terroir»; in pink with large dashed line, area of the archaeological preventive survey of 2011; in pink with punctual dotted line, area of the archaeological preventive survey of 2013; in green, area of the sectors 1 and 2 of the archaeological preventive excavation of 2013; in black, areas of the archeological programmed excavations of 2014-2015 and 2017; in dark grey, diagnosed band with programmed test pits of 2015; continuous line in pink, area of the archaeological preventive survey of 2020. Cartographic background: OpenStreetMap. C.A.D.: D. Hérisson.

quaternaire de la plaine est modeste (de l'ordre de 3 mètres), essentiellement sableux et dépourvu de nappe de graviers résistants (absence de roche cohérente dure dans le bassin versant). La morphologie de détail a été façonnée par l'activité fluviale et éolienne à la fin du Pléniglaciaire (Deschodt, 2019). Des traces discrètes de chenaux pléniglaciaires, parfois réoccupés par les écoulements ultérieurs, alternent avec des dunes linéaires basses. La partie ouest de la plaine, à laquelle appartient Waziers, est scellée par une couverture loessique attribuée à la fin du Pléniglaciaire weichselien (Fourrier, 1989, 1992; Deschodt, 2019).

2.3 - GÉOLOGIE ET TOPOGRAPHIE DE DÉTAIL

Le Bas-Terroir occupe vers 21 m d'altitude la partie distale d'un versant à pente très faible (de l'ordre de 0,25 %) qui se connecte à la plaine. La couverture quaternaire masque le passage de la craie (vers le haut du versant) à l'«Argile de Louvil» puis au «Sable d'Ostricourt». Une légère dépression est sensible sur la zone.

3 - DE LA DÉCOUVERTE D'UNE SÉQUENCE TOURBEUSE À SON ATTRIBUTION À L'ÉMIEN : PREMIÈRES OBSERVATIONS ET INTERPRÉTATIONS DANS UN CADRE D'ARCHÉOLOGIE PRÉVENTIVE (2011-2013)

3.1 - DE LA TOURBE TARDIGLACIAIRE (?) DANS UN PREMIER DIAGNOSTIC D'ARCHÉOLOGIE PRÉVENTIVE EN 2011

Le projet de la Z.A.C. du Bas-Terroir sur la commune de Waziers (Nord), au lieu-dit le Bas-Terroir a suscité la prescription d'un diagnostic archéologique par le S.R.A. du Nord-Pas-de-Calais en 2011 sur les 8 ha à aménager. Le diagnostic a été réalisé par la Communauté d'Agglomération du Douaisis - Direction de l'Archéologie Préventive (C.A.D.-D.A.P.) du 14 novembre au 16 décembre 2011 sous la direction de S. Rorive (2012). Six sondages en puits ont été menés par Y. Petite (géomorphologue de la C.A.D.-D.A.P.) dans le cadre du diagnostic (figs. 2 & 3). Ouverts jusqu'à 2,50 m de profondeur (profondeur limitée pour des raisons de sécurité), ils ont permis la mise au jour d'une séquence de sables argileux lités sous-jacents à des sables argileux gleyifiés et recouverts par des limons. Ouvert en paliers dans l'angle nord de l'emprise, un septième sondage a rencontré à 3,20 m de profondeur un niveau de tourbe épais de plus d'un mètre (fig. 4). Cette séquence sédimentaire inédite (fig. 5) figure dans le rapport du diagnostic 2011 (Rorive *et al.*, 2012) et est reprise dans le rapport de diagnostic 2013, effectué sur la zone adjacente (Sergent *et al.*, 2013). Par comparaison avec les sites les plus proches (Douai «Hôtel Dieu» [Munaut *et al.*, 1995]; Dourges [Deschodt *et al.*, 2005]; Houplin-Ancoisnes [Deschodt *et al.*, 2004]) et en l'absence de

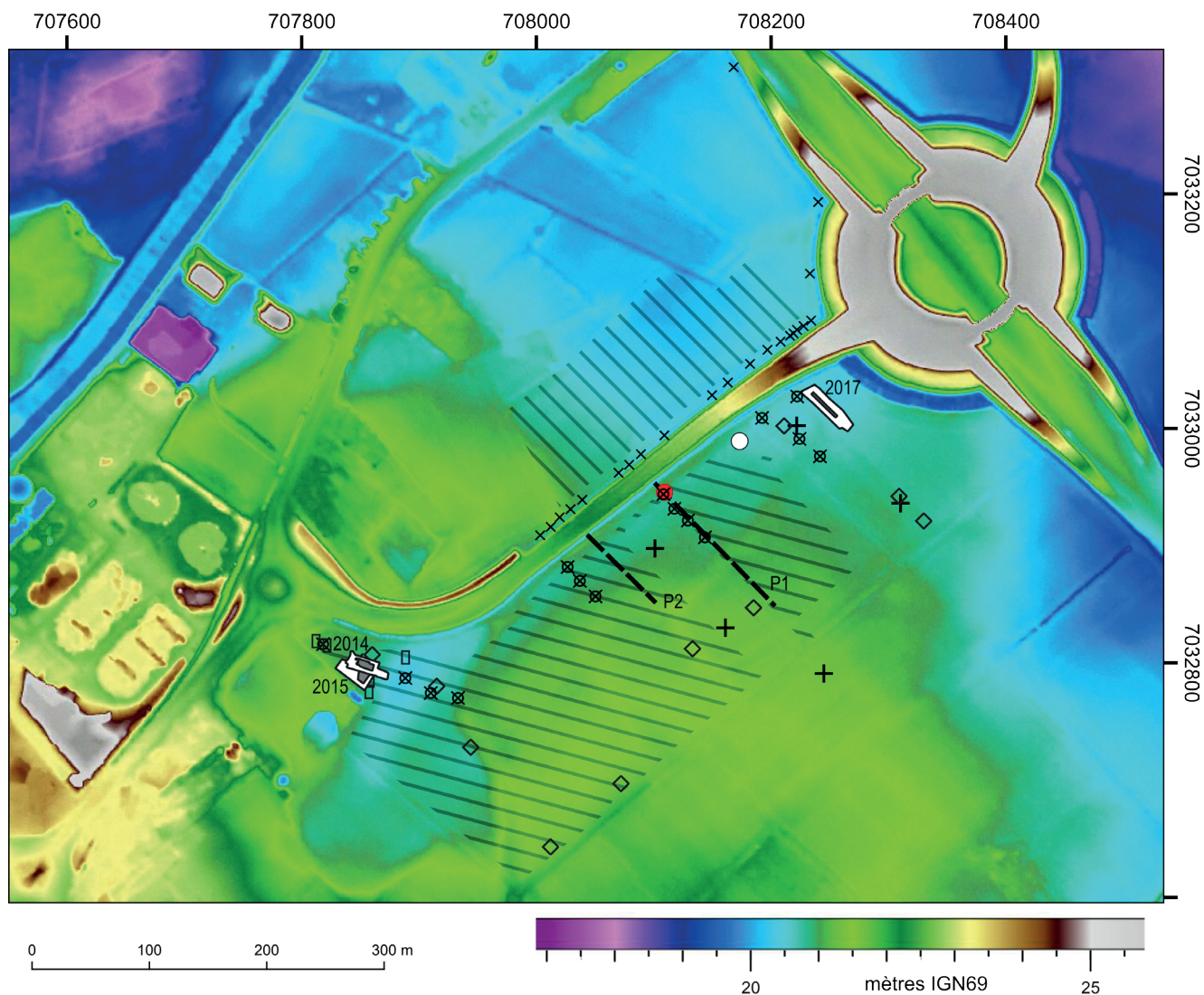
mobilier archéologique, il avait été supposé que ces niveaux puissent être tardiglaciaires.

3.2 - DE LA TOURBE DANS LES SONDRAGES GÉOTECHNIQUES DE LA SOCIÉTÉ FONDASOL EN 2011

La société Fondasol a mené une campagne géotechnique sur la Z.A.C. en décembre 2011 dans le cadre des futurs aménagements. Au total, cinq sondages de reconnaissance lithologique (SP), sept essais de pénétration statique (PS), un sondage piézométrique et dix-huit sondages à la pelle mécanique (PM – jusqu'à 2 m de profondeur) ont été réalisés (Carneau, 2012; fig. 3). Le sondage SP3 (associé au sondage 7 du diagnostic 2011) montre des horizons tourbeux à 2,5 m de profondeur sur une puissance de 1,5 m (fig. 6), tout comme le sondage SP5 avec une quarantaine de centimètres de tourbe à 3,70 m de profondeur, tourbe surmontée dans les deux cas par du sable limoneux gris beige à nodules de craie. Les profondeurs des niveaux tertiaires et du socle crayeux ont ainsi pu être estimées à 7,80 m pour les Argiles de Louvil et 12 m pour les niveaux crayeux (soit en altitude NGF, 13,45 m pour les Argiles de Louvil et 9,25 m pour le substrat crayeux). Par endroits, les niveaux argileux tertiaires sont surmontés par du Sable d'Ostricourt.

3.3 - À NOUVEAU DE LA TOURBE PLÉISTOCÈNE (?) ET DES VESTIGES PALÉOLITHIQUES DANS LE SECOND DIAGNOSTIC D'ARCHÉOLOGIE PRÉVENTIVE EN 2013

La suite du projet de la Z.A.C. du Bas-Terroir a entraîné la réalisation d'un nouveau diagnostic archéologique de près de 3 ha, sur des parcelles situées à l'ouest de celles investiguées par le diagnostic de 2011 (figs. 2 & 3). Le diagnostic a été réalisé par la Communauté d'Agglomération du Douaisis - Direction de l'Archéologie Préventive (C.A.D.-D.A.P.) du 4 au 7 février 2013 sous la direction d'A. Sergent (2013). En complément des classiques tranchées de diagnostic pour les périodes historiques, quatre sondages profonds en puits ont été ouverts à la pelle mécanique. Le sondage 2 a livré un limon organique dit «tourbeux» entre 3,5 et 4 m de profondeur. Le sondage 4 a permis la mise au jour entre 3,5 et 4,5 m de profondeur de plusieurs niveaux de tourbe. Ces derniers contenaient un fragment de radius d'Aurochs, très bien conservé et présentant vraisemblablement une fracturation intentionnelle ancienne (fig. 7), ainsi qu'une pointe pseudo-Levallois en silex (fig. 8). Suite à des échanges entre Yann Petite (C.A.D.-D.A.P.) et Laurent Deschodt (INRAP), l'hypothèse a été émise d'une datation plus ancienne que celle qui avait été proposée de prime abord, ce qui a amené le S.R.A. à demander une étude complémentaire, en accord avec l'aménageur face à la découverte de ces vestiges attribuables au Pléistocène dans un niveau tourbeux.
















fouilles <i>digs</i>	tarières mécaniques <i>core drillings</i>	"puisard" (puits technique) <i>"sump"</i> (technical pit)	puits à la pelle mécanique <i>mechanical excavator test pits</i>	investigations géophysiques <i>geophysical investigations</i>
 1	 4		 8	 11
 2	 5		 9	 12
 3	 6	 7	 10	 13

Fig. 3 : Localisation et récapitulatif des observations menées sur le site de Waziers jusqu'en 2017.

Coordonnées en mètres Lambert 93. 1/ Fouille campagne 2014, emprise au sol et en fond de fouille (Locht, 2014; Hérisson, 2016), 2/ Fouille campagne 2015 (Hérisson, 2016, 2017), 3/ Fouille campagne 2017 (Hérisson, 2018), 4/ Sondage à la tarière mécanique destructive (campagne 2013; Antoine *et al.*, 2013), 5/ Sondage géotechnique antérieur à l'aménagement de la zone (Carneau, 2012), 6/ Carottage (campagne 2013: Antoine *et al.*, 2013; Hérisson, 2016), 7/ Sondage dit « du Puisard » (fouille préventive, 2013: Sergent *et al.*, 2013; Deschodt 2014), 8/ Sondage en puits réalisé en opération archéologique préventive par le service archéologique de la communauté de commune du Douaisis (Rorive *et al.*, 2012; Sergent *et al.*, 2013), 9/ Sondage en puits au godet preneur (campagne 2015: Hérisson, 2016), 10/ Sondage en puits réalisés lors de la campagne de fouille programmé 2014 (Locht, 2014), 11/ Zone explorée en géophysique (conductivité, EM31, campagne 2015: Hérisson, 2016), 12/ Zone explorée en géophysique (conductivité, EM31, campagne 2013: Antoine *et al.*, 2013), 13/ Tomographie électrique (campagne 2013: Antoine *et al.*, 2013). D.A.O.: L. Deschodt.

*Fig. 3: Location and summary of the observations made on the Waziers site until 2017. Lambert 93 meters survey. 1/ Digging campaign 2014, hold on the ground and bottom of excavation (Locht, 2014; Hérisson, 2016), 2/ Digging campaign 2015 (Hérisson, 2016, 2017), 3/ Digging campaign 2017 (Hérisson, 2018), 4/ Destructive mechanical auger survey (2013 campaign: Antoine *et al.*, 2013), 5/ Geotechnical survey prior to the area development (Carneau, 2012), 6/ Coring borehole (2013 campaign: Antoine *et al.*, 2013; Hérisson, 2016), 7/ Pit called "du Puisard" (2013 preventive digging: Sergent *et al.*, 2013; Deschodt 2014), 8/ Pit boring carried out during preventive archaeological operation by the archaeological department of the association of metropolitan areas of Douai (Rorive *et al.*, 2012; Sergent *et al.*, 2013), 9/ Pit boring with grab bucket (2015 campaign: Hérisson, 2016), 10/ Pit boring carried out during the 2014 digging campaign (Locht, 2014), 11/ Geophysic investigation (conductivity, EM31, 2015 campaign: Hérisson, 2016), 12/ Geophysic investigation (conductivity, EM31, 2013 campaign: Antoine *et al.*, 2013), 13/ Electric tomography (2013 campaign: Antoine *et al.*, 2013). C.A.D.: L. Deschodt.*

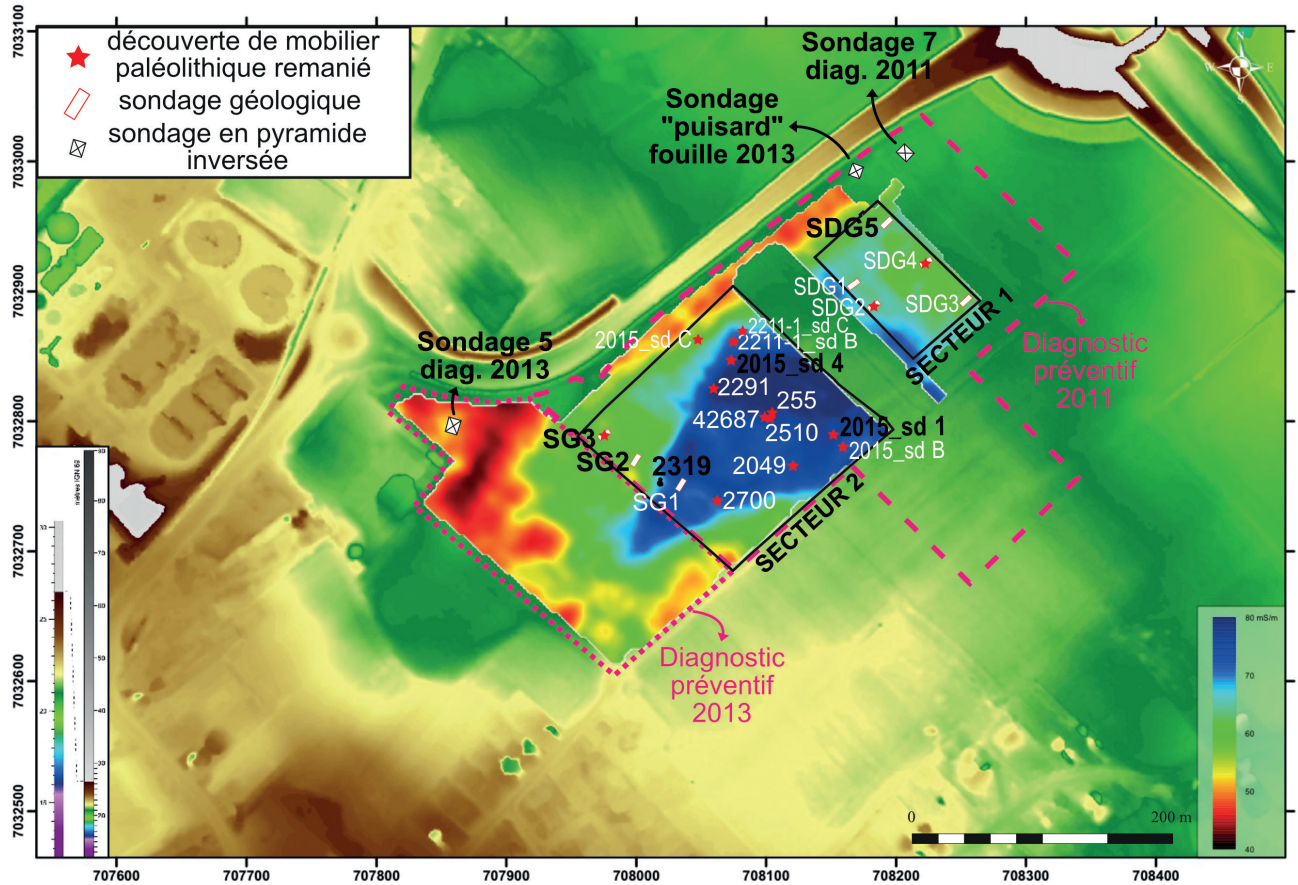


Fig. 4: Localisation des sondages et structures fouillées par la CAD-DAP en lien avec la découverte de vestiges paléolithiques durant les diagnostics préventifs de 2011, 2013 et de la fouille préventive historique de 2013.

Les sondages ou structures en noir sont ceux cités dans l'article. MNT d'après PPIGE NPDC-GRID 2012-2013, Lidar Scarpe (DREAL Nord-Pas-de-Calais) et ERRUISOL (Région Wallonne). Conductivité électrique par EM31 d'après Hulin & Vermoux, 2022. D.A.O.: D. Hérisson et S. Lacroix.

Fig. 4: Location of the test pits and structures excavated by the CAD-DAP linked with the discovery of palaeolithic remains during the preventive surveys of 2011, 2013 and the preventive historical excavation of 2013. The test pits or structures in black are those cited in this paper. DEM according PPIGE NPDC-GRID 2012-2013, Lidar Scarpe (DREAL Nord-Pas-de-Calais) and ERRUISOL (Région Wallonne). EM31 Electric conductivity according to Hulin & Vermoux, 2022. C.A.D.: D. Hérisson and S. Lacroix.



Fig. 5: Vue du sondage en paliers (sondage 7) exécuté lors du diagnostic archéologique préventif de 2011 et livrant notamment une succession de niveaux de tourbe entre 16,50 m et 17,50 m NGF, cliché: S. Rorive in (Sergent et al., 2013).

Fig. 5: View of the stepped test pit (sondage 7) executed during the archaeological preventive survey of 2011 and notably delivering a succession of peat layers between 16,5 m and 17,5 m NGF, photo: S. Rorive in (Sergent et al., 2013).

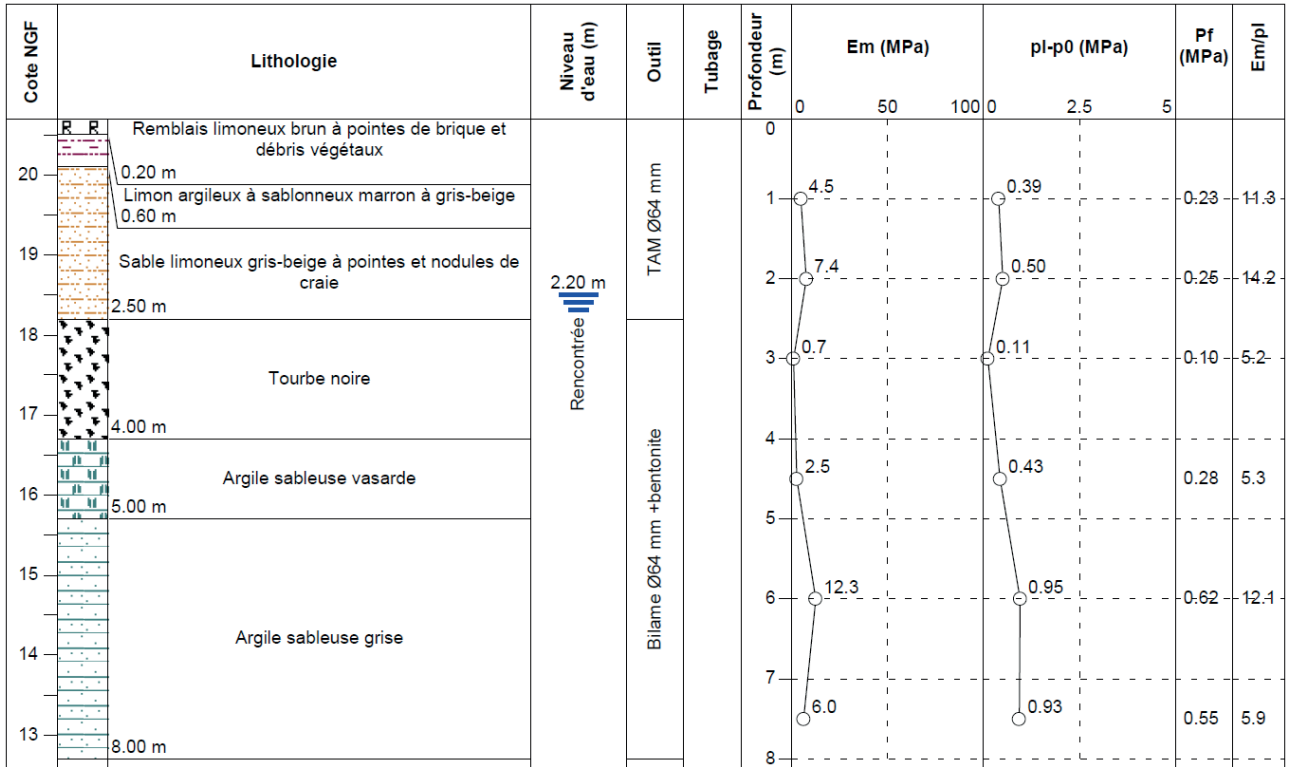


Fig. 6: Extrait du relevé du sondage SP3 réalisé lors de l'étude géotechnique par la société Fondasol en 2011 (Carneau, 2012), révélant 1,5 m de tourbe noire à partir de 18,2 m NGF.

Fig. 6: Extract of the survey of the SP3 borehole carried out in 2011 during the geotechnical study by the company Fondasol (Carneau, 2012), revealing 1.5 m of black peat under 18.2 m NGF.

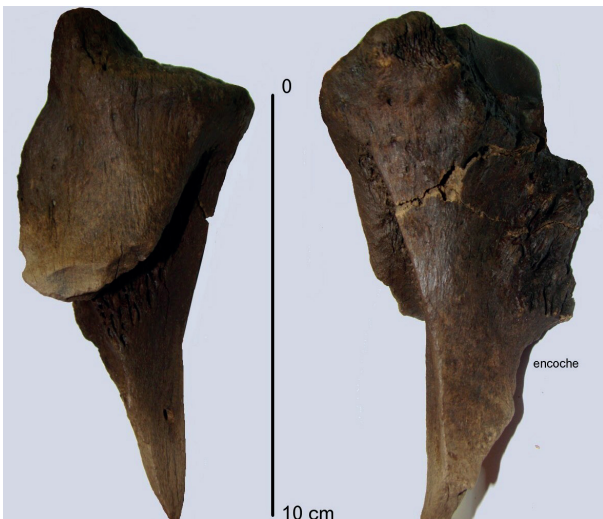


Fig. 7: Radius d'aurochs fracturé provenant du niveau de tourbe M du sondage 4 en puits du diagnostic archéologique préventif de 2013 (fig. 2, 3 et 4). Vue dorsale et médullaire (gauche), vue palmaire (droite).

La fracturation est typiquement hélicoïdale accompagnée d'enlèvements corticaux. Ces stigmates laissent peu de place au doute quant à leur origine anthropique d'autant que les indices de fracturation répondent également au modèle (circonférence $< \frac{1}{4}$ et $L < \frac{1}{4}$). Cliché: S. Louguet-Lefebvre in (Sergent et al., 2013).

Fig. 7: Fractured radius of aurochs coming from peat layer M of the deep test pit « sondage 4 » of the 2013 preventive archaeological survey (fig. 2, 3 and 4). Dorsal and medullary view (left), palmar view (right). Fracturing is typically helical accompanied by cortical removals. These stigmas leave little room for doubt as to their anthropogenic origin, as the signs of fracturing also correspond to the model (circumference $< \frac{1}{4}$ and $L < \frac{1}{4}$). Photo: S. Louguet-Lefebvre in (Sergent et al., 2013).



Fig. 8: Pointe pseudo-Levallois en silex provenant du niveau de tourbe M du sondage 4 en puits du diagnostic archéologique préventif de 2013 (fig. 2, 3 et 4).

Cliché: S. Rorive in (Sergent et al., 2013).

Fig. 8: Flint pseudo-Levallois point coming from peat layer M of the deep test pit « sondage 4 » of the 2013 preventive archaeological survey (fig. 2, 3 and 4). Photo: S. Rorive in (Sergent et al., 2013).

Les 14 et 15 février 2013, un sondage en pyramide inversée avec paliers de sécurité (SD5) est réalisé à 3 m au sud du sondage 4 par une équipe de la C.A.D.-D.A.P., associée à L. Deschodt (géomorphologue de l'Inrap) et assistée par des agents du S.R.A. du Nord-Pas-de-Calais (M. Audoly, Ph. Hannois, B. Masson et L. Vallin). La séquence (fig. 9) débute par des blocs et graviers de craie à 5,3 m de profondeur, surmontés de limons fluviatiles calcaires sur 1 m d'épaisseur. Des dépôts de limons tourbeux sont recouverts de plusieurs niveaux de tourbe livrant notamment des bois, formant un ensemble d'environ 1 m d'épaisseur. Cet ensemble d'unités tourbeuses est tronqué ou surmonté selon les endroits par plusieurs niveaux de dépôts alluviaux grossiers (graviers et granules de craie) à fins (sables) de 30 cm à 1 m d'épaisseur. La partie supérieure des dépôts est constituée de dépôts fluvio-éoliens, de limons lœssiques et de sables sur une puissance d'environ 2,5 m, eux-mêmes surmontés d'un petit horizon humique développé sur colluvions. Au-delà des observations plus fines sur la séquence, le sondage 5 a permis la mise au jour d'un corpus de 14 vestiges osseux et dentaires de mammifères provenant majoritairement des niveaux tourbeux (fig. 9). Ils appartiennent à trois espèces (d'après S. Louguet *in* Sergent *et al.*, 2013): l'Aurochs (*Bos primigenius*), le Chevreuil (*Capreolus capreolus*), et le Cerf élaphe (*Cervus elaphus*). Ces trois espèces indiquent un environnement mixte (forêt et prairie) sous climat tempéré et humide de type interglaciaire. Un fragment de côte arbore une strie de découpe avec un profil en «v», attestant d'une intervention anthropique sur l'os avec un outil tranchant (fig. 10). Vingt-six restes d'avifaune ont été mis au jour dans les unités tourbeuses du sondage 5, dont une douzaine ont pu être attribués à la famille des anatidés (d'après C. Lehnebach *in* Sergent *et al.*, 2013). Ils ne portent aucun stigmate imputable à l'action de prédateurs naturels ou à l'intervention humaine. Des tests d'identification sur les restes ligneux ont permis à A. Dietrich (xylologue à l'Inrap) de déterminer du peuplier. Une cupule de gland de chêne a également été retrouvée dans la tourbe (fig. 11). Quatre éclats de silex taillés et un fragment de galet ont été mis au jour dans le sondage 5, mais tous ces éléments sont en position secondaire dans les dépôts tronquant les limons tourbeux. Seul un éclat a été retrouvé plus haut dans la séquence, dans des limons sableux constituant la couverture fluvio-éolienne.

À l'issue de cette campagne de sondages du diagnostic préventif de 2013, la présence avérée de lœss en couverture, la composition faunique et botanique des vestiges mis au jour permirent de proposer une attribution à un interglaciaire pléistocène pour les dépôts tourbeux de la séquence, sans pouvoir préciser à cet instant lequel. Cette interprétation est corroborée par les résultats de datation par ¹⁴C-AMS d'un échantillon de tourbe demandée par le S.R.A., indiquant que l'âge ¹⁴C conventionnel de l'échantillon est antérieur à 43 500 BP (Beta: 348494). «Aucun âge radiocarbone calibré ne peut être proposé pour cette date car le niveau d'activité était trop faible pour pouvoir être différencié du signal du bruit de fond», et cela malgré le fait que «le prélèvement

a fourni une grande quantité de carbone pour assurer la réalisation de la mesure qui s'est déroulée normalement» (Save, 2013). Quant aux témoins du passage d'hommes préhistoriques à Waziers, ils sont ténus mais confirment un ou plusieurs passages par la pointe pseudo-Levallois retrouvée dans la tourbe du sondage 4 et les rares traces d'intervention anthropique laissées sur des restes d'Aurochs.

3.4 - DE LA TOURBE EEMIENNE ET DES VESTIGES PALÉOLITHIQUES DANS LE PUISARD, DES TÉMOINS D'OCCUPATIONS PALÉOLITHIQUES DANS LES FONDS DE FOSSE DE LA FOUILLE HISTORIQUE DE 2013

Sur les parcelles diagnostiquées en 2011, une fouille fut prescrite par le S.R.A. pour étudier les vestiges laténiens et gallo-romains. La fouille fut dirigée par S. Lacroix assisté de F. Simon (C.A.D.-D.A.P.) du 4 décembre 2012 au 24 septembre 2013 (Lacroix, en cours). A cette occasion, de nouvelles observations sur des occupations paléolithiques ont été effectuées dans le cadre d'un sondage en pyramide inversée dit «du puisard» et lors de sondages ouverts pour étudier plusieurs fosses «historiques».

3.4.1 - Le sondage dit du «puisard»

Démarrée le 4 décembre 2012, sur un terrain situé en zone humide, la fouille a rapidement pâti des intempéries à répétition. Les eaux hivernales ne s'évacuant pas sur le secteur 1, il est apparu indispensable de procéder au creusement au nord-est de l'emprise d'un ouvrage technique dit «puisard» pour drainer l'accumulation des eaux de pluie et pouvoir poursuivre la fouille (figs. 3 & 4). Devant le potentiel de découvertes paléolithiques, des spécialistes de la période furent conviés lors du creusement du puisard pour compléter l'équipe de la C.A.D.-D.A.P.: P. Antoine (C.N.R.S.) et L. Deschodt (Inrap) pour la géomorphologie et, E. Goval (Inrap) et D. Hérisson (Inrap) pour l'archéologie préhistorique. En concertation avec l'aménageur et le S.R.A., le sondage a été ouvert le 18 avril 2013 sous la forme d'une pyramide inversée prolongée par un puits.

La stratigraphie observée (fig. 12, Deschodt *et al.*, 2022) montre, sous le sol de surface (décarbonatation environ 1,2 m), une couverture limoneuse homogène (0,5 m) passant progressivement à des dépôts fluvio-éoliens, puis, à partir d'environ 3 m de profondeur, à un ensemble de dépôts fluviatiles fins organiques, de tourbes à bois et de limon travertineux à mollusques. Le tout repose en profondeur sur des formations fluviatiles gravelo-crayeuses (craie franche non atteinte). Les dépôts fluviatiles fins à dominante organique sont associés à une morphologie de barre de méandre, soulignée par les stratifications obliques faiblement inclinées, observées dans leur partie sommitale.

Compte tenu des connaissances sur les séquences quaternaires régionales (Deschodt, 2012; Deschodt *et al.*, 2012), la couverture lœssique qui fossilise la formation

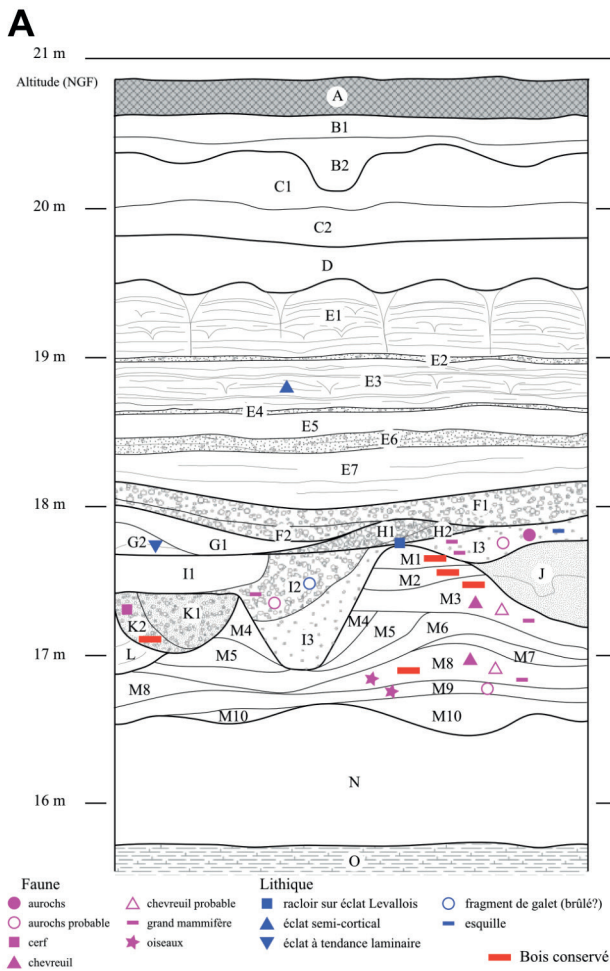


Fig. 9: Sondage 5 en paliers du diagnostic archéologique préventif de 2013 (fig. 2, 3 et 4).

(A) Log stratigraphique, description lithologique: A, humus; B, dépôts de colluvions et anthroposols; C, dépôts éoliens et action de la pédogenèse sur ces horizons de surface; D, sable limoneux verdâtre avec de petits graviers de craie épars; E, dépôts fluvio-éoliens; F, dépôts fluviaux à importantes charges sédimentaires; G, dépôt fluvial de régime calme; H, dépôts alluviaux de régime torrentiel; I, Alternance de dépôts de versant et de dépôts alluviaux; J, Sable fin lité à quelques litages plus organiques (allochtone ou sub-autochtone), avec à la base des lits de graviers; K, succession de sables entrecroisés avec une tendance du banc d'accrétion allant de l'ouest vers l'est sur la coupe nord et du sud vers le nord sur la coupe est; L, séquence alluvionnaire visible uniquement dans la partie nord et nord-ouest du sondage; M, ensemble holorganique formé en climat tempéré; N, limon argileux très clair, gleyé et calcaire correspondant à un dépôt fluvial de peu dynamique; O, substrat crayeux sénonien. (B) Vue du sondage à partir de l'ouest vers l'est. D.A.O. et cliché: Y. Petite in (Sergent *et al.* 2013, modifié).

*Fig. 9: Stepped test pit 5 of the archaeological preventive survey of 2013 (fig. 2, 3 and 4). (A) Stratigraphic log, lithological description: A, humus; B, colluvium deposits and anthroposols; C, aeolian deposits and pedogenesis action on these surface horizons; D, greenish silty sand with sparse chalk gravel; E, fluvio-aeolian deposits; F, fluvial deposits with high sediment loads; G, quiet regime fluvial deposit; H, torrential alluvial deposits; I, alternation of slope deposits and alluvial deposits; J, fine sand with a few more organic bedding (allochthonous or subautochthonous), with gravel beds at the base; K, succession of intersecting sands with a tendency of the accretion bank going from west to east on the northern section and from south to north on the eastern section; L, alluvial sequence visible only in the north and northwest part of the test pit; M, holorganic layers formed in a temperate climate; N, very clear clayey silt, gleyed and limestone corresponding to a low dynamic fluvial deposit; O, senonian chalky substrate. Photo and C.A.D.: Y. Petite in (Sergent *et al.*, 2013, modified).*



Fig. 10: Côte de boviné (aurochs ?) présentant une strie de décharnement issue du niveau I2 du sondage 5 du diagnostic archéologique préventif de 2013.

Le niveau I2 est une alternance de limon gris-beige et de niveaux riches en granules de craie (fig. 9). Cliché: S. Louguet-Lefebvre in (Sergent *et al.*, 2013).

*Fig. 10: Bovine rib (aurochs?) showing a defleshing striation from layer I2 of the stepped test pit «sondage 5» of the 2013 preventive archaeological survey. Layer I2 is an alternation of gray-beige silt and levels rich in chalk gravels (fig. 9). Photo: S. Louguet-Lefebvre in (Sergent *et al.*, 2013).*

organique montre un faciès typique de dépôts éoliens et fluvi-éoliens de la fin du dernier glaciaire (Pléniglaciaire supérieur) en fond de vallée et sur lesquelles se développe le sol de surface (Tardiglaciaire-Holocène). La formation à dominante organique sous-jacente «Formation de Waziers» est donc clairement antérieure à la grande phase d'extension loessique de la fin du Pléniglaciaire weichselien ($\pm 25-17$ ka). L'attribution des dépôts organiques tourbeux à un interstade du Weichselien moyen ($\pm 55-30$ ka), a priori possible et un temps évoquée compte tenu du bilan stratigraphique mis en évidence, nous sembla cependant totalement exclue en raison des contenus biologiques découverts dans ce sondage et dans le sondage 5 (cf 3.3). En effet, dans le sondage 5 mené en février 2013, la partie sommitale de la tourbe et les niveaux fluviatiles sablo-calcaires organiques sus-jacents ont livré de très grosses pièces de bois et des cupules de gland (chêne), des restes osseux attribués au chevreuil qui traduisent un environnement nettement forestier ainsi qu'un contexte tempéré de type optimum interglaciaire excluant de fait un interstade du Weichselien moyen. Les rares restes végétaux découverts en association avec des dépôts interstadiers dans la région dans la fourchette 55-30 ka se limitent à des débris végétaux appartenant aux genres *Betula* et *Salix* et quelques pièces de taille centimétrique attribuées à *Pinus* et datées de 32 ka BP ^{14}C (Antoine *et al.*, 2009).

Des prélèvements en vue de datation (OSL et U/Th sur gyrogonite) et de tests palynologiques et malacologiques ont été effectués. Les résultats rapides de l'analyse malacologique (mai 2013) confirmèrent l'attribution chronologique du complexe tourbeux. En effet, la tourbe livra notamment des espèces caractéristiques des phases interglaciaires (*Hippeutis complanatus*, *Bithynia tentaculata*, *Physa fontinalis*) parmi lesquelles deux sont particulièrement notables (*Belgrandia marginata* et *Anisus septemgyratus*) car elles n'existent plus dans les cortèges holocènes de la région et signent l'attribution des dépôts à une phase interglaciaire du Pléistocène



Fig. 11: Restes de cupule(s) de gland attestant la présence du chêne, provenant des niveaux de tourbe M du sondage 5 (fig. 9) du diagnostic archéologique préventif de 2013.

Cliché: A. Sergent in (Sergent *et al.*, 2013).

*Fig. 11: Remains of acorn cup(s) attesting to the presence of oak, from levels of peats M of the stepped test pit "sondage 5" (fig. 9) of the 2013 preventive archaeological survey. Photo: A. Sergent in (Sergent *et al.*, 2013).*



Fig. 12: Vue du sondage en paliers dit du «puisard» du sud vers le nord en cours de réalisation lors de la fouille historique préventive de 2013. Cliché: D. Hérisson.

Fig. 12: View of the stepped test pit so-called "puisard" from south to north executed during the preventive historical excavation of 2013. Photo: D. Hérisson.

(Limondin-Lozouet & Antoine, 2006; Limondin-Lozouet *et al.*, 2006; Antoine *et al.*, 2006).

La synthèse des données alors disponibles amenèrent à conclure à la préservation exceptionnelle d'une séquence de dépôts organiques d'environnement fluviatile s'inscrivant dans un contexte climatique interglaciaire, logiquement Eemien (optimum: ± 125 ka). Cette préservation s'est effectuée dans un système fluviatile à méandres au sein d'une plaine alluviale à la topographie faiblement marquée. Côté faunique, le corpus demeura identique à celui des sondages 4 et 5 du diagnostic de 2013, avec de l'Aurochs, du Chevreuil et du Cerf élaphe. Côté lithique, seul un éclat Levallois préférentiel typique frais (fig. 13) fut découvert dans les déblais du fond du puits, et peut être attribué aux sables silto-organiques gris verts à débris végétaux et mollusques de l'unité stratigraphique de détail (ud) 15 d'après le sédiment caractéristique de cette unité qui était encore collée sur la pièce (Deschodt *et al.*, 2022).

Compte tenu de l'âge des artefacts en silex parfaitement préservés découverts associés à des restes osseux bien conservés (qui montrent de plus des fracturations et traces de découpe d'origine anthropique) au sein d'une séquence exceptionnellement riche en éléments organiques, ce site présentait des caractéristiques uniques et un potentiel exceptionnel de découverte pour le Paléolithique, les dépôts offrant notamment la possibilité de préservation d'outils en bois, grandement méconnus pour le Paléolithique.

3.4.2 - Les vestiges paléolithiques mis au jour lors de la fouille historique de 2013

Lors de la fouille préventive des occupations historiques, des silex taillés provenant de niveaux paléolithiques remaniés sur une courte distance ont été mis au jour à plusieurs reprises au fond de sondages servant à l'étude de fossés et de fosses historiques. En procédant à des sondages mécaniques dans une série de fossés longeant la limite orientale du secteur 2 de la fouille, une trentaine de pièces lithiques ont été mises au jour par fouille mécanique puis manuelle les 25 et 26 avril 2013. L. Vallin est venu expertiser ces découvertes pour le S.R.A. le 29 avril, puis le 29 août 2013 lors de la découverte de nouveaux silex taillés. Il confirme l'appartenance du mobilier lithique au Paléolithique moyen à partir de critères techniques (débitage au percuteur de pierre dure, éclats laminaires peu nombreux, plusieurs éclats obtenus par une méthode Levallois préférentielle) et par la position de l'industrie (retrouvée dans un ou deux niveaux selon les sondages mais toujours dans les 2,5 premiers mètres, dans les limons fluvio-éoliens ou à l'interface entre un limon brun grisâtre à points de manganèse, parcouru de glosses grisâtres, et un sable limoneux orangé présentant également des taches grises d'hydromorphie) qui est *de facto* post-eemienne (figs. 14 & 15). Les conditions stratigraphiques (niveau d'érosion à granules de craie) et les caractéristiques de l'industrie (état physique, hétérogénéité) indiquent que les niveaux ne sont pas en

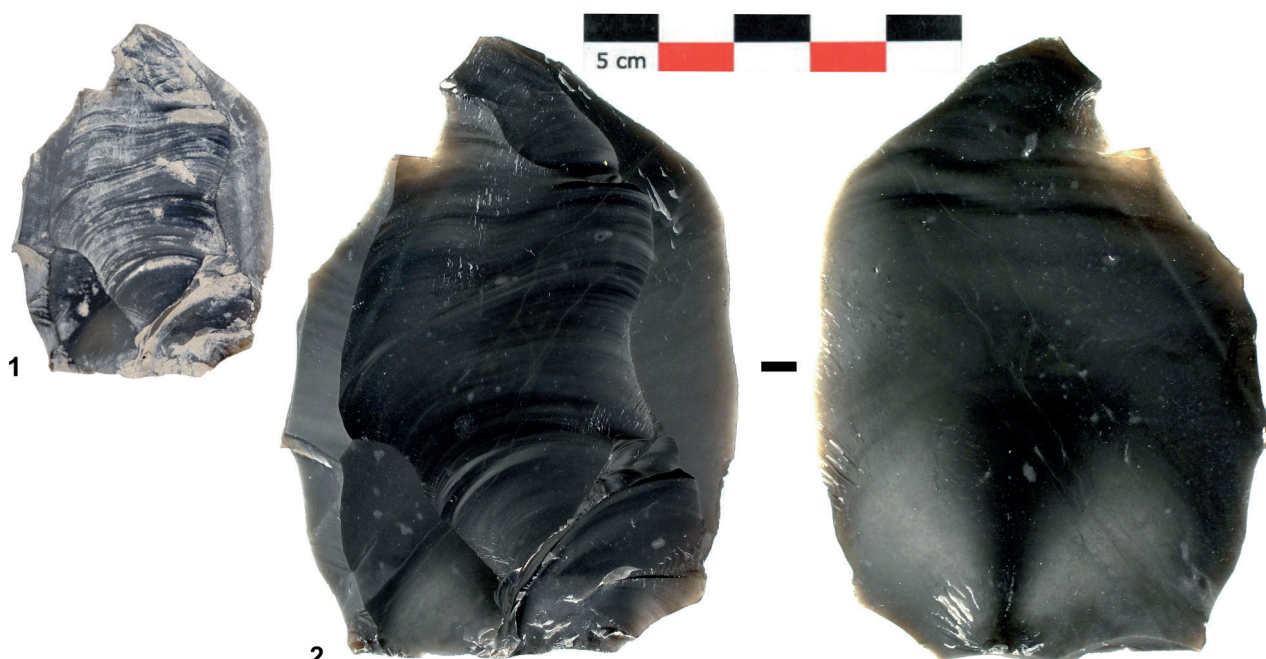


Fig. 13: Eclat Levallois préférentiel en silex mis au jour dans le sondage dit du «puisard» dans les déblais du fond du puits lors de la fouille historique préventive de 2013.

1/ Il peut être attribué aux sables silto-organiques gris verts à débris végétaux et mollusques de l'unité stratigraphique de détail (ud) 15 (Deschodt *et al.*, 2022) d'après la matrice qui le contenait et qui est encore visible sur lui lors de sa mise au jour, cliché: P. Antoine. 2/ Le même éclat après nettoyage à l'échelle 1:1, cliché: S. Rorive in (Sergent *et al.*, 2013).

*Fig. 13: Flint preferential Levallois flake uncovered in the stepped test pit so-called "puisard" in the rubble from the bottom of the pit during the preventive historical excavation of 2013. 1/ It can be attributed to the green gray silty-organic sands with plant and mollusc debris of the stratigraphic unit of detail (ud) 15 (Deschodt *et al.*, 2022) according to the matrix it contained and which is still visible on it when it was unearthed, photo: P. Antoine. 2/ The same flake after cleaning at scale 1:1, photo: S. Rorive in (Sergent *et al.*, 2013).*

place archéologiquement parlant. Ils résultent plutôt d'un démantèlement fluvial avec redéposition du matériel sur une courte distance, matériel provenant d'une ou plusieurs occupations situées peut-être plus en amont sur un versant aujourd'hui érodé. Au total, 236 artefacts lithiques ont été mis au jour dans tous les sondages conduits lors de la fouille historique, majoritairement dans trois sondages (2015_sd 4 : n=82 ; 2015_sd 1 : n=80 ; 2015_sd B : n=34) et plus ponctuellement dans les autres (figs. 4 & 16). Aux caractéristiques générales énumérées ci-dessus, nous pouvons ajouter que la production est tournée au moins en partie vers l'obtention d'éclats Levallois préférentiels d'assez grandes dimensions, associés à des supports finement retouchés en raclours simples convexes et double convergent. Toutes les pièces présentent un lustre prononcé attestant de mouvement dans le sable. Côté faunique, seules deux esquilles osseuses indéterminées et un potentiel petit fragment de bois de cervidé ont été découverts dans le sondage SD 4 dans le second niveau.

Les douze sondages profonds réalisés sur la fouille historique témoignent d'une dilatation de la couverture pléistocène à partir d'un point haut du substrat tertiaire (probablement autour du sondage 4 ; fig. 4). De part et d'autre, les dépôts fluviaux et fluvio-éoliens s'épaississent rapidement, masquant probablement un dénivelé important. Les sondages du secteur 1 (SDG 5) et

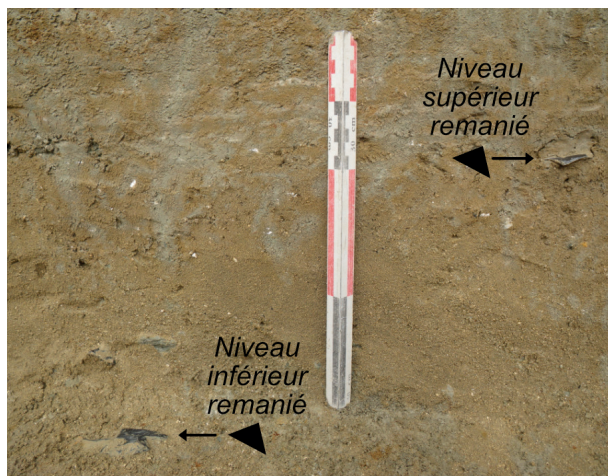


Fig. 14: Vue de détail de la coupe du sondage 2015 sd 1 (localisation sur fig. 4) de la fouille historique préventive de 2013, avec les deux niveaux remaniés ayant livré des silex taillés du Paléolithique moyen.

Le sondage 2015 sd 1 a livré 80 silex taillés dans deux niveaux. Le niveau supérieur se situe vers 2 m de profondeur à l'interface entre des sables lités d'origine fluviale parcourus de glosses (au-dessus) et un sable orangé non lité, bien classé, fluvial, contenant quelques granules de craie diffus et quelques géli fractas de silex usés (au-dessous). Le niveau inférieur est situé à une vingtaine de centimètres sous le précédent, à la base du sable orangé non lité. Cliché : M-H. Rousseaux (Lacroix, en cours).

Fig. 14: Detailed view of the section of the 2015 sd 1 pit (location on fig. 4) from the preventive historical excavation of 2013, with the two reworked levels having yielded knapped flint from the Middle Palaeolithic. The pit 2015 sd 1 yielded 80 knapped flint in two layers. The upper layer is located around 2 m deep at the interface between bedded sands of fluvial origin traversed by glosses (above) and unbedded orange sand, well classified, fluvial, containing some diffuse chalk gravels and some worn flint gelifracts (below). The lower level is located about twenty centimeters below the previous one, at the base of the orange sand that is not bedded. Photo: M-H. Rousseaux (Lacroix, in progress).

du secteur 2 (SG 2 et SG 3) ont livré sous les formations fluvio-éoliennes des trois premiers mètres, un niveau de limon organique surmonté d'un niveau de granules de craie et de lambeaux de tourbe (fig. 17). Le sondage de la fosse 2319 (au sud-ouest de l'emprise, fig. 4) a permis l'observation détaillée sous les limons fluvio-éoliens d'un niveau de limon organique gleyifié d'une quarantaine de centimètres surmonté d'un horizon d'une dizaine de centimètres de tourbe dégradée et déformée par des processus périglaciaires (fig. 18).

4 - CERNER ET EXPLORER LE POTENTIEL SÉDIMENTAIRE ET PALÉOLITHIQUE EEMIEN DES ZONES DU BAS-TERROIR MENACÉES D'AMENAGEMENT DANS UN CADRE D'ARCHÉOLOGIE PROGRAMMÉE (2013-2015)

L'essentiel des articles de ce volume présente les résultats acquis lors de cette première «triennale» de recherches programmées, et pour cette raison nous n'entrerons pas ici dans le détail des résultats acquis sur ces années de terrain 2013 à 2015. Nous nous contenterons de contextualiser les interventions et de renvoyer aux différents articles du volume.

4.1 - CAMPAGNE DE PROSPECTION GÉOPHYSIQUE EN EM31 ET PANNEAUX ÉLECTRIQUES (JUILLET 2013)

Une première campagne de prospection géophysique a été menée du 9 au 12 juillet 2013 sous la direction de P. Antoine dans le cadre d'une opération d'archéologie programmée sur les parcelles décapées de la fouille historique alors en cours en 2013 et les parcelles diagnostiquées en février 2013 (figs. 2 & 3). Un relevé de conductivité électrique moyenne a été effectué en EM31 sur l'ensemble de cette zone par G. Hulin, sur une surface totale d'environ 66 000 m². Puis, sur la base des résultats ainsi que ceux des observations antérieures, deux transects ont été positionnés transversalement à l'axe du paléochenal de la Scarpe-Scarbus et ont fait l'objet de deux panneaux électriques réalisés par C. Virmoux (Hulin & Virmoux, 2022).

4.2 - CAMPAGNE DE SONDAGES A LA TARIÈRE MÉCANIQUE –TM– ET SONDAGE CAROTTÉ – SC (SEPTEMBRE 2013)

S'appuyant sur les résultats acquis en géophysique révélant l'axe du paléochenal de la Scarpe-Scarbus, une campagne de sondages à la tarière mécanique fut entreprise sous la direction de P. Antoine du 11 au 13 septembre 2013 sur le secteur investi en EM31 (fig. 3). Seize sondages à la tarière mécanique destructive ont été effectués (notés TM) de manière à construire des transects perpendiculaires au cours du paléochenal et mieux cerner l'extension des dépôts eemiens en couplant les observations ponctuelles des sondages aux résultats géophysiques (fig. 3). Enfin, un sondage carotté (SC) a été réalisé à proximité de TM1 à l'emplacement où les formations eemiennes étaient les plus développées. Cinq tubes ont été extraits (tube 1 [0-1 m], tube 2 [1,10-1,94

m], tube 3 [2,04-3,07 m], tube 4 [3,07-4 m], tube 5 [4,05-5,10 m]) dont le plus profond (tube 5) a fait l'objet d'une analyse palynologique (Gauthier, 2022). Ces travaux prospectifs complémentaires (géophysiques et sondages tarière) permirent de proposer une première carte localisant le paléochenal eemien de la Scarpe-Scarbus, les dépôts associés et les zones possédant le plus fort potentiel de préservation d'occupations paléolithiques (fig. 19).

4.3 - PREMIÈRE CAMPAGNE DE FOUILLE PROGRAMMÉE (MAI-JUIN 2014): DE NOUVEAUX INDICES D'OCCUPATIONS NÉANDERTALIENNES

Le choix d'implantation de la première fenêtre de fouille en 2014 s'est porté sur la parcelle AD-640 sondée en 2013 car il s'agissait de la seule zone encore disponible sur les surfaces diagnostiquées (aménagées entre temps) et qui possédait un fort potentiel sédimentaire et paléolithique (figs. 2 & 3). La fouille programmée a été réalisée du 26 mai au 20 juin 2014 sous la direction de J.-L. Locht (2014). Elle a consisté à ouvrir de nouveau la pyramide inversée du sondage 5 du diagnostic préventif de 2013



Fig. 15: Vue de dessus du niveau inférieur en cours de décapage du sondage 2015 sd1 lors de la fouille historique préventive de 2013.

Une vingtaine d'artefacts ont été récoltés lors de la fouille manuelle de ce niveau remanié, groupés en petites concentrations au fond de petites poches ou ravines, incisées dans un limon argileux gris à texture grenue et remplies de sable grossiers et de quelques gélifracsts usés. Cliché: F. Simon (Lacroix, en cours).

Fig. 15: Top view of the lower layer being stripped of the pit 2015 sd1 during the preventive historical excavation of 2013. About twenty artefacts were collected during the manual excavation of this reworked level, grouped in small concentrations at the bottom of small pockets or gullies, incised in a gray clay loam with a grainy texture and filled with coarse sand and a few worn gelifracsts. Photo: F. Simon (Lacroix, in progress).

et d'étendre l'exploration vers l'ouest (figs. 3 & 4). Une ouverture au sol d'environ 400 m² a été pratiquée, ce qui a permis de fouiller 40 m² manuellement sur les 133 m² ouverts en fond de fouille (fig. 20). Deux objectifs étaient ciblés: étudier en détail la séquence stratigraphique et démontrer la présence d'une occupation humaine eemienne *stricto sensu* à Waziers. Le premier objectif fut rempli en faisant le maximum de prélèvements pour des analyses multi-proxy (principalement malacologie, palynologie, datations OSL, entomologie). Le second objectif fut également rempli en mettant au jour quatre artefacts dans deux niveaux distincts (Deschodt *et al.*, 2022; Hérisson *et al.*, soumis): N1 (dans un niveau de tourbe, US5b) et N2 (dans un limon fluviatile déposé entre deux tourbes, US5c). Leur position stratigraphique rend leur attribution à l'Interglaciaire indiscutable. De plus, des stigmates sur des restes fauniques dans les mêmes niveaux prouvent l'exploitation des grands herbivores mais aussi de plus petits mammifères par l'Homme (traces de crémation sur os long d'aurochs, fracturation d'os longs, traces de découpe sur os de castor). Autre découverte remarquable: la mise au jour et la fouille d'un barrage ou d'une hutte de castor doivent être signalées (Auguste *et al.*, 2022).

4.4 - PREMIERE CAMPAGNE DE SONDAGES PROFONDS (MAI-JUIN 2014): UNE GÉOMÉTRIE DES DÉPÔTS DU PALÉOCHENAL ESQUISSÉE

Une campagne de sondages profonds en puits à la pelle mécanique a été menée en parallèle de la fouille programmée le 11 juin 2014 (SP 1 et 2) et le 13 juin 2014 (SP 3, 4 et 5). Grâce à ces informations complétant les observations de la fouille (Locht, 2014), la géométrie générale des dépôts indique la présence d'une rive vers le sud de l'excavation tandis que les unités fluviatiles sont partout ailleurs présentes et semblent même se développer en épaisseur et en profondeur au nord de l'excavation 2014 (SP5; figs. 3 & 4).

4.5 - SECONDE CAMPAGNE DE PROSPECTION GÉOPHYSIQUE EN EM31 (MAI 2015)

Une étude géophysique a été réalisée afin de poursuivre, plus au nord, la campagne menée en 2013 (Hérisson, 2016; fig. 3). L'objectif global était d'aider à la restitution du contexte géomorphologique et archéologique de la vallée eemienne. La phase terrain a eu lieu le 18 mai 2015 et a été menée par G. Hulin. Elle a permis de couvrir environ 23 000 m² supplémentaires et de supposer une préservation différente du versant nord.

4.6 - SECONDE CAMPAGNE DE SONDAGES PROFONDS (JUILLET 2015): UN VERSANT NORD MOINS BIEN PRÉSERVÉ

Afin de confirmer cette dernière hypothèse et vérifier la nature des dépôts pléistocènes au nord de la route, une seconde campagne de sondage profonds en puits

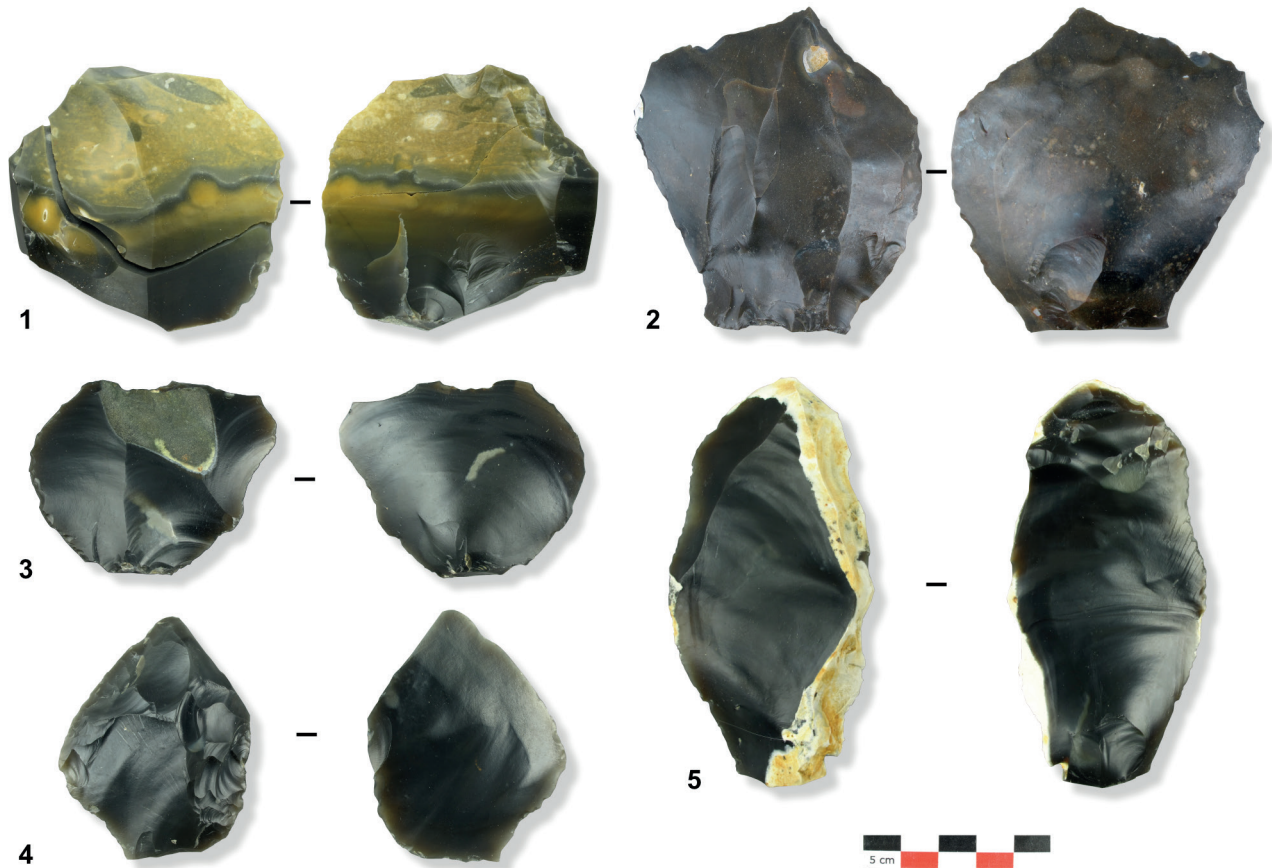


Fig. 16 : Industrie lithique mise au jour dans le sondage 2015 sd4 de la fouille préventive de 2013.

1 et 2/ Eclats non corticaux gélivés (n° D1 et 106), 3/ éclat semi-cortical avec bords ébréchés (n° D5), 4/ racloir double convergent sur fragment distal d'éclat non cortical (n° 40), 5/ éclat semi-cortical avec bords ébréchés (n° 62). Quelques 60 artefacts lithiques et fragments de faune ont été collectés en position remaniée, disposés à plat et formant un mince niveau à la base d'un limon grisâtre, immédiatement au-dessus d'un limon sableux orangé dans le sondage 2015 sd4. Clichés : S. Rorive. D.A.O. : D. Hérisson et F. Simon.

Fig. 16: Lithic industry recovered in the pit 2015 sd4 of the preventive excavation of 2013. 1 and 2/ Non cortical flaked flakes (n° D1 et 106), 3/ semi-cortical flake with chipped edges (n° D5), 4/ double convergent side scraper on a distal fragment of non cortical flake (n° 40), 5/ semi-cortical flake with chipped edges (n° 62). About 60 lithic pieces and some fragments of fauna were collected in a reworked position, laid out flat and forming a thin level at the base of a grayish silt, immediately above an orange sandy loam in the pit 2015 sd4. Photos: S. Rorive. C.A.D.: D. Hérisson and F. Simon.



Fig. 17 : Vue du sondage SG3 du secteur 2 de la fouille historique préventive de 2013.

Un niveau de limon organique surmonté d'un niveau de granules de craie et de lambeaux de tourbe a été mis au jour sous les formations fluvio-éoliennes des trois premiers mètres. Cliché : Y. Petite.

Fig. 17: View of the pit SG3 of the sector 2 of the preventive historical excavation of 2013. A level of organic silt topped by a level of chalk gravels and peat shreds was unearthed under the fluvio-aeolian formations of the first three meters. Photo: Y. Petite.

a été menée avec une pelle mécanique les 1^{er} et 2 juillet 2015 (Hérisson, 2016; figs. 2 & 3). Vingt-deux sondages ont été creusés au godet preneur à cause de l'étréouissement de la bande de terre disponible longeant la route. L'ensemble du secteur prospecté en géophysique montre dans les sondages une absence de préservation de dépôts eemiens, probablement érodés lors de phase(s) érosive(s) au Weichselien. Seul un petit secteur entre les SP 19 à 18 peut présenter un potentiel de préservation de dépôts eemiens, qu'il conviendra de confirmer. Le plus fort potentiel pour de futures explorations se situe donc au sud-ouest de la zone prospectée en géophysique (fig. 3). Ce fait est confirmé par la séquence mise au jour dans les SP1 à SP5, identique à celle de la fouille 2014. Cependant, la présence d'eau au moment des sondages n'a pas permis d'explorer pleinement les dépôts eemiens et d'en évaluer le potentiel archéologique.

4.7 - SECONDE CAMPAGNE DE FOUILLE PROGRAMMÉE (OCTOBRE-NOVEMBRE 2015): UN NOUVEAU NIVEAU D'OCCUPATION AU SOMMET DE LA TOURBE

Le choix d'ouverture en 2015 a été simple puisqu'aucune des autres options proposées n'a réussi à passer le cap des négociations d'accès au terrain (Hérisson, 2016). C'est donc vers une réouverture et extension de la fenêtre de la fouille de 2014 située dans le remplissage d'un paléochenal de la Scarpe-Scarbus que s'est orientée la fouille de 2015 (figs. 2 & 3). Contrainte par la cession de la parcelle, la fouille express s'est déroulée du 26 octobre au 4 novembre 2015 et a été menée sous la direction de D. Hérisson, comme l'ensemble des opérations programmées menées sur la zone à partir de 2015. Le but de cette campagne était de finir la fouille de la zone ouverte en 2014 et d'étendre l'exploration au sud afin de trouver et, le cas échéant, fouiller la zone de berge, théoriquement plus favorable à la préservation de traces d'occupation humaine. Une aire

de 775 m² au sol a été ouverte pour atteindre 211 m² de formation eemienne décapés au troisième palier (fig. 20). Deux zones de fouilles manuelles ont été testées (fig. 20), une négative de 10 m² (absence de faune et d'artefacts; angle sud-est de la fouille 2015) et une positive de 11 m² (présence d'artefacts lithiques et de faune; au sud de la coupe 5 de la fouille 2014, fig. 20). L'intégralité du sédiment du secteur de fouille manuelle positif a été prélevée et ensuite tamisée, soit 1 230 litres de sédiment. Le reste de la surface a été décapé de manière fine à la pelle mécanique sur 145 m².

La campagne de fouilles 2015, bien que courte sur le terrain, fut extrêmement riche en information, en permettant :

- de confirmer la présence d'un modelé de rive avec juste un débordement tourbeux depuis le paléochenal au sud de la fouille 2014,
- de mettre en évidence une configuration différente de l'hypothèse émise en 2014 d'un versant remontant rapidement au sud de la fouille 2014 (lit plus large que prévu dans l'axe nord-sud),
- de mettre au jour un niveau archéologique inédit en position primaire dans un niveau de tourbe «à feuilles» (ud 300 – US5e – N3) situé sur une berge du paléochenal et constitué entre autres de deux petits amas de débitage,
- de compléter le corpus faunique, notamment dans de nouvelles unités stratigraphiques,
- de découvrir de nouveaux vestiges organiques qui livreront à coup sûr de précieux éléments pour reconstituer l'environnement eemien ou les activités anthropiques.

En parallèle des opérations de terrain, de nombreuses études ont été menées dont deux aboutirent en 2015. D'une part, une première date U/Th sur gyrogonite a livré un âge (minimal) de 103 ± 3,5/-3,4 ka, en accord avec la séquence eemienne. D'autre part, l'étude palynologique a pu proposer une succession d'une dizaine de palynozones

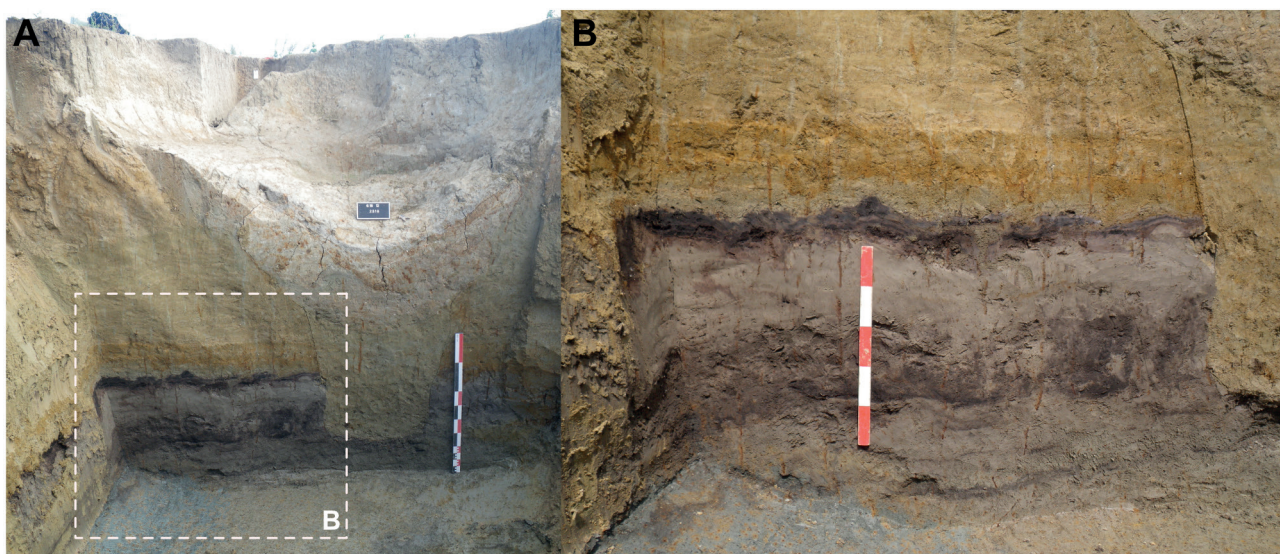


Fig. 18: Vues du sondage de la fosse 2319 de la fouille historique préventive de 2013.

(A) Vue globale de la coupe de la fosse en cours de fouille. (B) Vue de détail des horizons de tourbe et de niveaux de limons organiques. Clichés : S. Lacroix.

Fig. 18: View of the pit 2319 of the preventive historical excavation of 2013. (A) Global view of the section of the pit during excavation. (B) Detailed view of the horizons of peat and organic silt layers. Photos: S. Lacroix.

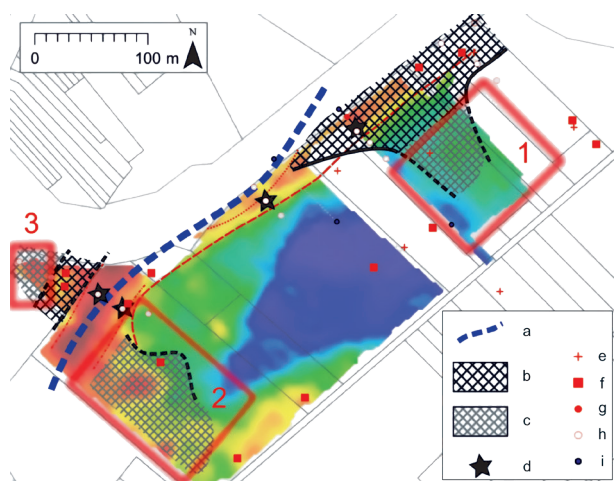


Fig. 19: Zones (encadrées en rouge et numérotées de 1 à 3) de plus fortes probabilités de conservation de niveaux archéologiques structurés associés à une sédimentation eemienne estimées à l'issue de la campagne de prospections géophysiques et de carottages en septembre 2013 (Deschodt *et al.*, 2013). (a) axe hydrographique réutilisé au Weichselien. (b) Formation travertineuse et tourbeuse eemienne (entre environ 15 et 17 m IGN69) associée au chenal. (c) Formation tourbeuse à la même altitude que (b), Eemien probable. (d) Formation à tendance organique ou à débris organiques observés en profondeur (vers 14 m IGN69). (e) Sondage géotechnique. (f) Sondage en puits à la pelle mécanique. (g) Sondage carotté. (h) Sondage à la tarière mécanique destructive. (i) Point d'extrémité de panneau de résistivité.

*Fig. 19: Areas (framed in red and numbered from 1 to 3) with a higher probability of conservation of structured archaeological layers associated with eemian sedimentation estimated at the end of the geophysical and coring campaign in September 2013 (Deschodt *et al.*, 2013).* (a) Hydrographic axis reused during the Weichselian. (b) Eemian travertine and peat formation (between about 15 and 17 m IGN69) associated with the channel. (c) Peat formation at the same elevation as (b), Eemian probable. (d) Formation with an organic tendency or organic debris observed at depth (around 14 m IGN69). (e) Geotechnical survey. (f) Mechanical pit boring. (g) Coring borehole. (h) Destructive mechanical auger survey. (i) Resistivity panel end point.

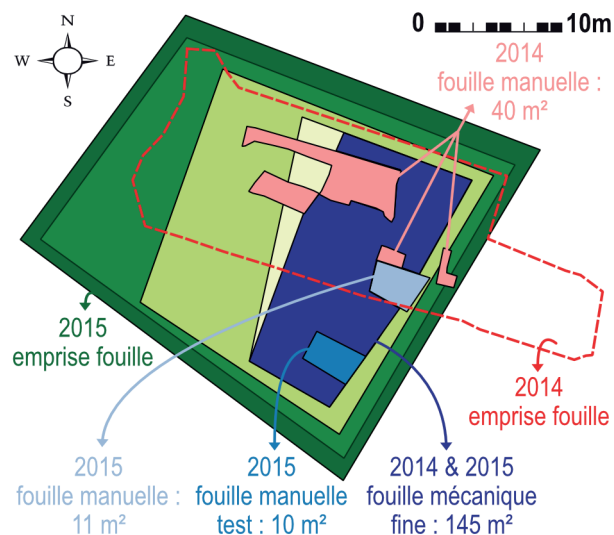


Fig. 20: Localisation des différentes zones de fouilles programmées de 2014 et 2015 (d'après Hérisson, 2016, modifié).

En pointillé rouge, emprise de l'ouverture de la fouille 2014 (ca. 400 m²). En vert foncé, emprise de l'ouverture de la fouille 2015 (775 m²). En rose, zones fouillées manuellement en 2014, environ 40 m² au total. En violet, fouille mécanique fine de 145 m². En bleu marine, fouille manuelle test de 10 m². En bleu-gris, fouille manuelle de 11 m². D.A.O. : D. Hérisson.

Fig. 20: Location of the different areas of scheduled excavation of 2014 and 2015 (after Hérisson, 2016, modified). In red dotted line, limit of the opening of the 2014 excavation (ca. 400 m²). In dark green, limit of the opening of the 2015 excavation (775 m²). In pink, areas excavated manually in 2014, around 40 m² at total. In purple, mechanical fine excavation of 145 m². In navy blue, test area of manual excavation of 10 m². In blue-gray, manual excavation of 11 m². C.A.D.: D. Hérisson.

locales, depuis la fin d'une glacière (colonne prélevée en 2014 dans les limons sous les tourbes et à leur base) jusqu'à un optimum interglaciaire (tourbes dans le tube 5 de la carotte SC de 2013). Les palynozones locales Waz3 et 4 se retrouvent respectivement au sommet et à la base de chaque prélèvement, permettant de faire le lien stratigraphique entre les deux lieux de prélèvement. Les successions des zones palynologiques montrent un enregistrement unique presque complet de cette période, débutant par le développement de boisements ouverts au sein d'une végétation herbacée sèche typique de phases pré-tempérées, puis une amélioration climatique avec la mise en place de la tourbière en plusieurs étapes.

Les 211 m² de la séquence eemienne explorée en deux campagnes de fouilles ont livré un nombre important de prélèvements pour les différents proxys qu'il fallut traiter et analyser en laboratoire. L'enveloppe budgétaire conséquente demandée pour les analyses et l'absence de terrain accessible menacé à court terme par l'aménagement ont poussé l'équipe à se concentrer sur l'analyse des différents proxys en laboratoire en 2016.

5 - EXPLORER LE POTENTIEL SÉDIMENTAIRE ET PALÉOLITHIQUE EEMIEN À L'EST DU BAS-TERROIR DANS UN CADRE D'ARCHÉOLOGIE PROGRAMMÉE (2017)

En 2017, la zone explorée en fouilles en 2014 et 2015 étant désormais aménagée (Hérisson, 2018), c'est à l'est de la Z.A.C. du Bas-Terroir que les investigations se sont focalisées, à une soixantaine de mètres au nord-ouest du sondage dit du « puisard » de 2013 (cf 3.4.1, figs. 2 & 3). La campagne sur le terrain a débuté le 21 et 22 septembre 2017 par le creusement d'une première pyramide inversée à l'angle sud-ouest de la parcelle accessible (fig. 21). Cette première ouverture a été ainsi menée car elle permettait d'obtenir un accès à l'ensemble de la séquence pour la montrer aux habitants de Waziers lors de l'excursion de la journée du patrimoine du 23 septembre 2017.

Cette première pyramide inversée a permis d'observer la conservation relativement bonne des unités de tourbe sur ce secteur et confirmer la présence du chenal et de son remplissage dans la continuité des données acquises jusqu'alors par géophysique et par carottage. La fouille à proprement parler a été menée du 2 au 16 octobre 2017. Le décapage mécanique s'est poursuivi en fouillant au fil de l'avancée à partir de la pyramide inversée en direction du sud-est, formant *in fine* une tranchée à paliers d'environ 50x13m d'ouverture au sol pour 28x2m en fond de fouille (fig. 22). Deux sondages en puits (SP 1 et SP 2) ont été réalisés aux deux extrémités de la tranchée pour explorer les dépôts les plus profonds et le substrat. Les corrélations entre les séquences des fouilles 2014/2015 et 2017 ne posent pas de problème particulier, malgré quelques variations latérales de faciès et unités différentes sous la séquence de tourbe. La séquence 2017 et les analyses multi-proxy étant encore en cours, nous n'entrerons pas ici dans le détail des corrélations, laissant les résultats de la fouille



Fig. 21: Vue de la pyramide inversée de l'est vers l'ouest creusée au début de la campagne de fouille programmée 2017, cliché: L. Vallin.
 Fig. 21: View of the stepped pit from east to west executed at the beginning of the scheduled excavation campaign of 2017, photo: L. Vallin.



Fig. 22: Vue du début du creusement de la fenêtre de fouilles de 2017, partant de la pyramide inversée au nord-ouest (visible au premier plan) et s'étendant au final sur 50 m de long en direction du sud-est, cliché: D. Hérisson.
 Fig. 22: View of the beginning of the digging of the 2017 excavation window, stemming from the stepped pit to the north-west (visible in the foreground) and ultimately extending over 50 m in a south-easterly direction, photo: D. Hérisson.

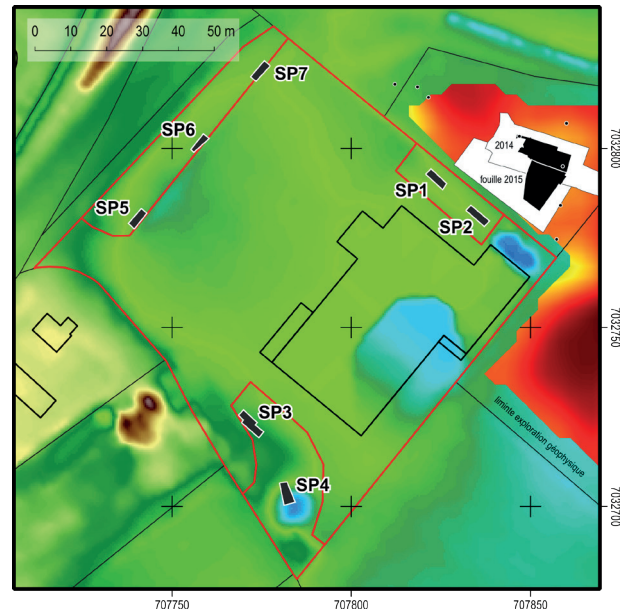


Fig. 23: Localisation des sept sondages profonds en puits réalisés lors du diagnostic préventif de juin 2020, sur une parcelle adjacente aux fouilles programmées 2014 et 2015, D.A.O.: L. Deschodt in (Locht et al., 2020).
 Fig. 23: Location of the seven deep test pits executed during the preventive archaeological survey of June 2020, on a plot adjacent to the 2014 and 2015 scheduled, C.A.D.: L. Deschodt in (Locht et al., 2020).

2017 prendre forme dans de prochaines publications. La synthèse lithostratigraphique, les études et la synthèse paléoenvironnementale du présent volume prennent en compte les ouvertures et prélèvements effectués jusqu'en 2015. Notons simplement qu'en 2017 la berge du chenal principal a pu être fouillée et qu'un chenal secondaire a été en partie mis au jour à l'extrémité sud-est de la tranchée de la fouille. Après cette campagne de 2017, la triennale prévue 2017-2019 s'est achevée faute d'accès au terrain. Les exploitants agricoles ne souhaitent plus d'investigations archéologiques, même programmée, conséquence d'un contexte local tendu avec le lancement d'un projet d'extension de la Z.A.C.

6 - UN DIAGNOSTIC PRÉVENTIF À PROXIMITÉ DES FOUILLES 2014-2015 (2020) : LA PALÉOTOPOGRAPHIE DES BERGES ET DES CHENAUX PRÉCISÉE

Suite à une demande de réaménagement du magasin Leclerc Drive, une prescription de diagnostic d'archéologie préventive a été émise par le S.R.A. des Hauts-de-France afin de vérifier l'extension des formations fluviatiles pléistocènes et des vestiges archéologiques associés dans cette parcelle contigüe à celle des fouilles 2014/2015 (fig. 2). L'opération a eu lieu du 9 au 11 juin 2020 sous la direction de J.-L. Locht (Inrap ; Locht *et al.*, 2020). Sept sondages profonds en puits ont été réalisés à la pelle mécanique (fig. 23) et chaque godet a été fouillé à la main pour récupérer les vestiges lithiques et osseux. Les corrélations avec les observations de 2014 et 2015 ont été faites sans difficultés majeures. Les sondages SP1, SP2 et SP3 présentent comme pour la fouille de 2015 toute proche une remontée des niveaux tourbeux fortement déformés par des fractures et des effondrements thermokarstiques. Le sondage SP4 à l'extrémité sud voit de nouveau le développement d'une tourbe, témoignant que le talweg situé derrière le magasin semble propice à la conservation de la « formation de Waziers » (fig. 24). Les sondages SP6 et SP7 montrent sans ambiguïté que le chenal fouillé en 2014 se prolonge à cet endroit, à proximité et probablement sous la route. Côté archéologique, deux cassons de silex taillés de petites dimensions ont été mis au jour dans l'unité 7 du SP4 en position légèrement remaniée dans un lit de limon, de sable et de tourbe remaniée avec quelques graviers de craie et associés à deux fragments de côtes d'éléphantidés. Notons aussi la présence d'une vingtaine de fragments crâniens (dont un maxillaire) d'un possible rhinocéros et d'un fragment de diaphyse d'os long de petit herbivore dans le sondage SP1 en position remaniée à l'interface tourbe/graviers. L'enseignement principal de ce diagnostic est la mise en évidence de la continuité du niveau vers l'amont du versant selon deux zones : (1) le chenal en partie sous la route et (2) le talweg au sud de l'emprise (fig. 25). La paléotopographie du site devient de plus en plus claire après chaque opération avec deux paléochenaux identifiés, l'un à l'ouest, l'autre au sud

(fig. 25). D'après les données des fouilles 2014/2015 et du sondage SP4 de 2020, les occupations humaines semblent être localisées sur l'interfluve et sur les berges des paléochenaux.

7 - UNE TROISIÈME CAMPAGNE DE PROSPECTION GÉOPHYSIQUE EN EMP (SEPTEMBRE 2021) : DE NOUVELLES PERSPECTIVES DANS UN CADRE PROGRAMMÉ ?

La dernière opération en date sur la zone du Bas-Terroir fut une troisième campagne de prospection géophysique en EMP menée le lundi 27 septembre 2021 par la société Geocarta, et mise en œuvre dans le cadre du programme de prospections géophysiques du S.R.A. des Hauts-de-France. Cette campagne visait à mieux connaître les pourtours des zones investiguées jusqu'alors afin de connaître les secteurs au plus fort potentiel pour la préservation des dépôts eemien et des occupations paléolithiques qu'ils pourraient conserver. La première série de parcelles prospectées en septembre 2021 représente une surface d'environ 212 000 m² (fig. 2) et sera complétée par une seconde campagne courant 2022 portant sur environ 130 000 m². Nous ne présenterons pas ici les résultats de ces prospections encore en cours d'analyse car bien que la cartographie générée soit prometteuse, la prospection géophysique doit demeurer un outil d'aide à la décision. Elle demande comme nous l'avons montré dans les précédentes campagnes à Waziers à ce que des points d'observation directe des dépôts soient effectués pour connaître la nature des zonations que les résultats de conductivité ou de résistivité dessinent. Néanmoins, notons que l'autorisation d'accès au terrain par les exploitants agricoles pour mener cette campagne géophysique marque un tournant dans les négociations qui étaient demeurées stériles depuis 2015 et laisse espérer que de nouvelles investigations dans le cadre de l'archéologie programmée seront possibles dans un futur proche.

8 - CONCLUSION INTRODUCTIVE

Ces dix années de recherches (2011-2021) sur la zone du Bas-Terroir à Waziers ont permis de découvrir puis, pour partie, d'identifier, cerner, fouiller et analyser une séquence inédite datant de l'Eemien et les vestiges exceptionnels qu'elle livre. Malgré les diverses difficultés rencontrées pour exploiter ce potentiel unique (cf § 1), la documentation recueillie pendant cette décennie d'investigations est de toute première importance car rarissime pour reconstituer les comportements des Néandertaliens, les paysages et environnements qu'ils ont parcourus et exploités au cours du Tardiglaciaire du MIS 6 et pendant l'Interglaciaire eemien. Le gisement de Waziers rejoint la liste des sites remarquables pour l'étude du Paléolithique dans le Nord de la France, au même titre que le complexe de sites de Cagny pour le



Fig. 24: Vue du sondage SP4 du sud vers le nord de la campagne de diagnostic préventif de juin 2020.

(A) Le sondage montre une séquence similaire à celle observée en 2014/2015, avec notamment des niveaux de tourbe bien préservée entre 3 et 4 m de profondeur. (B) Vue de détail de la fin du sondage au contact du substrat tertiaire. Clichés et montage: L. Deschodt in (Locht et al., 2020, modifié).

Fig. 24: View of deep test pit SP4 from south to north during the June 2020 preventive archaeological survey. (A) The pit shows a sequence similar to that observed in 2014/2015, notably with well-preserved peat layers between 3 and 4m deep. (B) Detail view of the end of the pit at the contact of the tertiary substrate. Photos and assemblage: L. Deschodt in (Locht et al., 2020, modified).

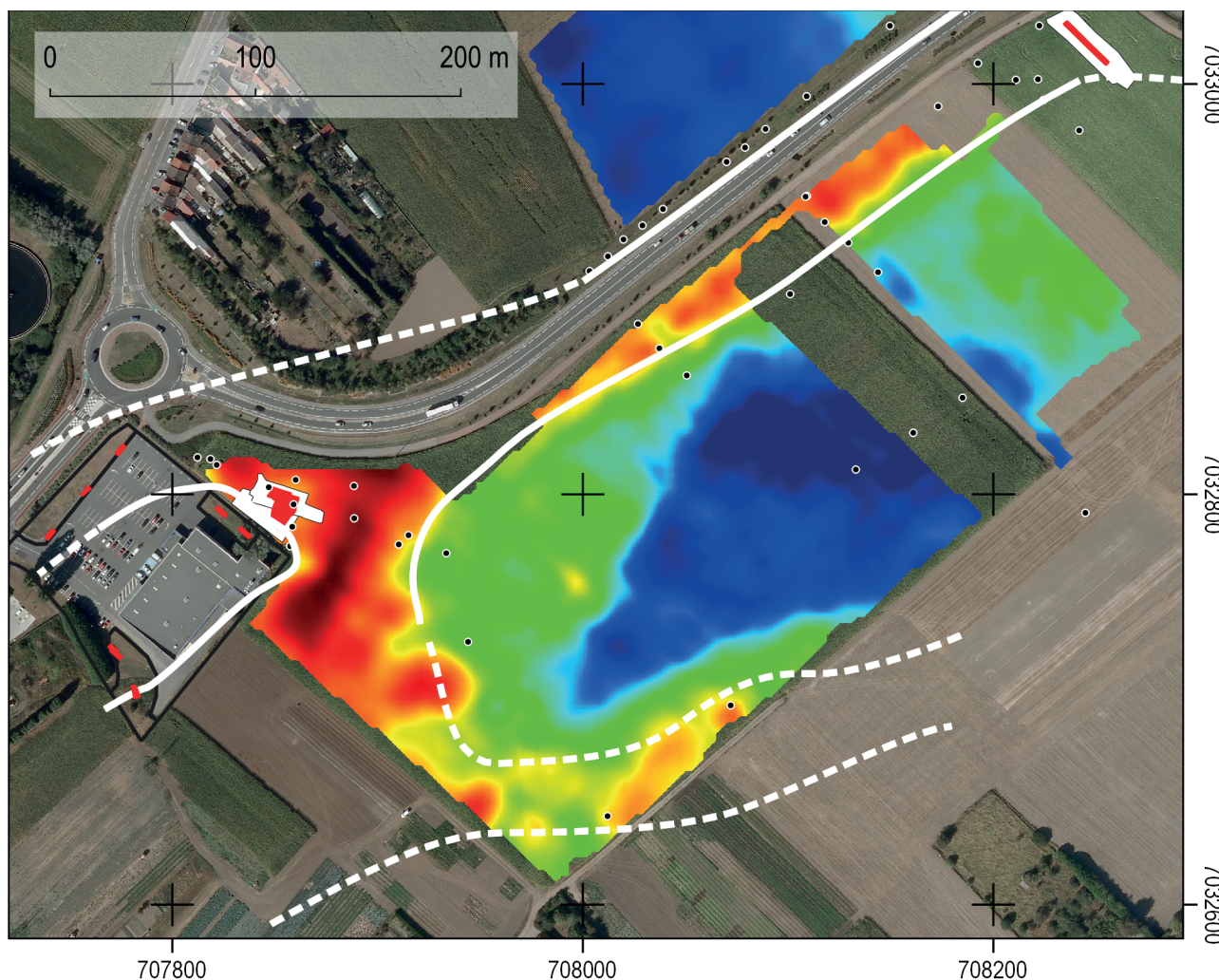


Fig. 25: Proposition d'extension de la formation eemienne de Waziers à l'issue de la campagne de diagnostic préventif de juin 2020.

Fond: carte de conductivité électrique obtenue en EM31 (Hulin & Virmoux, 2022) Les lignes blanches continues représentent les limites probables des chenaux tandis que les lignes blanches en pointillés indiquent les limites supposées et à vérifier des chenaux. En rouge, zones fouillées en 2014, 2015 et 2017 et sondages préventifs de 2020 (rectangles). Cercles noirs entourés de blanc, points d'observation de la séquence, pour le détail cf fig. 3. D.A.O. : L. Deschodt in (Locht et al., 2020).

Fig. 25: Proposal for the extension of the Waziers eemian formation following the preventive survey campaign of June 2020. Background: electrical conductivity map obtained in EM31 (Hulin & Virmoux, accepted). The continuous white lines represent the probable limits of the channels while the dashed white lines indicate the assumed and to be verified limits of the channels. In red, excavated areas of 2014, 2015 and 2017 and preventive test pit of 2020 (rectangles). Black circles surrounded by white, sequence observation points, for detail see fig. 3. C.A.D.: L. Deschodt in (Locht et al., 2020).

Paléolithique inférieur, Caours ou Biache-Saint-Vaast pour le Paléolithique moyen ou Renancourt pour le Paléolithique supérieur. Le gisement de Waziers se démarque par la qualité de préservation de ses vestiges organiques (surtout végétaux) et par l'étendue des dépôts pléistocènes préservés, demandant au final une approche paysagère. De par ces deux particularités, le site ou plutôt le complexe de sites de Waziers rappelle un autre gisement paléolithique d'exception en Europe occidentale, le complexe de sites de Schöningen.

Cet historique des recherches nous rappelle la complémentarité et la nécessaire collaboration entre les institutions et les acteurs archéologiques sur le terrain et en dehors pour que de telles découvertes puissent être faites puis exploitées dans les meilleures conditions possibles. D'un autre côté, l'aménagement de la Z.A.C. du Bas-Terroir a engendré un double effet : une effet positif dans un premier temps permettant de révéler une séquence totalement inédite dans ce secteur grâce aux différentes opérations d'archéologie préventive et notamment de diagnostics préventifs ; un effet négatif dans un second temps en limitant les possibilités d'opérations de terrain dans le cadre de l'archéologie programmée (temps très court d'intervention avant l'aménagement puis, accès impossible après l'aménagement, doublé de tensions chez les agriculteurs locaux entraînant de très grandes difficultés pour accéder aux parcelles contiguës).

Le potentiel archéologique et paléoenvironnemental reste immense sur la zone du Bas-Terroir à Waziers comme en témoignent les données géophysiques, les sondages effectués et les zones déjà fouillées. Ces dernières, bien que représentant un infime volume des dépôts eemien préservés sur la zone, ont d'ores-et-déjà livré de précieux éléments pour mieux appréhender les paléoenvironnements successifs et les multiples passages de groupes néandertaliens durant la fin du Saalien et l'Eemien. Ces premiers éléments sont présentés dans les 11 articles suivants qui se focalisent – presque – exclusivement sur les résultats acquis lors des campagnes de fouilles programmées de 2014 et 2015. Ces articles entrent plus en détail dans chacune des facettes que ce gisement livre à partir d'un bilan des analyses déjà menées et abouties. Le tome 2 s'achève sur une approche dite « multi-proxy », ou plus simplement une approche pluridisciplinaire, classique en préhistoire mais toujours efficiente, et sur un *data-paper* présentant la documentation et les données supplémentaires provenant des recherches sur le gisement de Waziers et mises à disposition de la communauté scientifique en ligne.

REMERCIEMENTS

Un grand nombre de personnes ont œuvré pour que les recherches à Waziers voient le jour et puissent tout simplement se faire, il nous est donc agréable ici de les remercier sincèrement. Merci notamment à :

- tous les bénévoles qui ont pris part aux différentes opérations programmées sur le terrain et en dehors : Nelson Ahmed-Delacroix, Elie Dabkowski, Philippe

Hérisson, Antoine Kostek, Samuel Lacroix, Frédéric Lallemand, Sophie Lefebvre, Yann Petite, Chloé Pfister, Sylvie Rorive, Pierre-Gil Salvador, Angélique Sergent, Noémie Sévèque, Frédéric Simon,

- la mairie de Waziers, ses maires successifs, M. Michon et M. Desmons, leurs adjoints, Mme Morantin, Mme Caron, M. Dogimont et les différents acteurs des services municipaux, pour l'aide dans les négociations multiples et leur soutien dans les actions de valorisation menées auprès des waziérois,

- la Direction Régionale de Affaires Culturelles et particulièrement le Service Régional de l'Archéologie Nord-Pas-de-Calais puis Hauts-de-France, les conservateurs régionaux de l'archéologie successifs M. Révillion et M. Collart, les agentes prescriptrices successives Mmes Audoly, Bollard-Raineau et Pagli, pour le soutien financier, leur réactivité, leur confiance dans le portage de ce programme de recherche ambitieux et imprévisible,

- les exploitants agricoles, à savoir les membres des familles Caron et Cliquet pour leur autorisation d'accès cruciale pour les différentes interventions,

- les nombreux propriétaires des parcelles pour leur autorisation d'accès cruciale pour les différentes interventions,

- la société AVENTIM et particulièrement sa dirigeante Mme Anne-Céline Lacherie pour son autorisation d'accès ayant permis de mener les fouilles 2014 et 2015,

- l'INRAP, et plus particulièrement pour la direction des Hauts-de-France Laurent Sauvage, Richard Rougier, pour la direction du CSNE Marc Talon et Gilles Prilau, Guillaume Hulin pour la DST, pour les jours accordés aux agents pour certaines des opérations programmées et le soutien logistique et géophysique accordé,

- les laboratoires du C.N.R.S. ArScAn (UMR7041), LGP (UMR8591) et HNHP (UMR7194) pour leur support financier, le soutien logistique et l'accès aux équipements,

- la C.A.D.-D.A.P. (devenue Direction de l'Archéologie Préventive de Douaisis Agglo) pour la mobilisation de l'ensemble de son personnel : son directeur (Luc Bernard), éclairé des précieux conseils de Etienne Louis, Christian Severin et Emmanuelle Leroy-Langelin, et toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation des diagnostics et des fouilles, et plus particulièrement Camille Lehnbach, Sophie Lefebvre, Faustine Carpentier, Sébastien Pronier, Marie Lebrun et Emmanuelle Bonnaire,

- la société FONDASOL pour l'accord de reproduction d'une figure issue de son rapport géotechnique préalable à la construction du Leroy Merlin.

Nous remercions également les relecteurs pour leur relecture attentive.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANTOINE P., LIMONDIN-LOZOUET N., AUGUSTE P., LOCHT J.-L., GALHEB B., REYSS J.-L., ESCUDÉ É., CARBONEL P., MERCIER N., BAHAIN J.-J., FALGUÈRES C. & VOINCHET P., 2006 - Le tuf de Caours (Somme, France) : mise en évidence d'une séquence eemienne et d'un site paléolithique associé. *Quaternaire*, 17 (4), 281320, doi: 10.4000/quaternaire.880.
- ANTOINE P., ROUSSEAU D.-D., MOINE O., KUNESCH S., HATTÉ C., LANGA., TISSOUX H. & ZÖLLER L., 2009 - Rapid and Cyclic Aeolian Deposition during the Last Glacial in European Loess: A High-Resolution Record from Nussloch, Germany. *Quaternary Science Reviews*, 28, (25), 29552973, doi: 10.1016/j.quascirev.2009.08.001.
- ANTOINE P., DESCHODT L., GAUTHIER A., HULLIN G. & VIRMOUX C., 2013 - Waziers «Bas-Terroir» 2013. Reconnaissance géophysique et tarière mécanique. Rapport de prospection programmée, INRAP, UMR8591 du CNRS, Service Régional de l'Archéologie du Nord-Pas-de-Calais, 27 p.
- AUGUSTE P., SÉVÈQUE N. & LOUGUET S., 2022 - La mésofaune et macrofaune mammalienne de Waziers (Nord), Le Bas-Terroir. Données paléontologiques (2014-2015). *Quaternaire*, 33 (4).
- CARNEAU B., 2012 - Rapport d'étude géotechnique Waziers (59), Construction d'un magasin, RD917, Etude géotechnique G12. Rapport d'étude géotechnique 2011, Fondasol géotechnique, Marcq-en-Baroeul, 129 p.
- DESCHODT L., 2012 - Sédimentologie et datation des dépôts fluvio-éoliens du Pléniglaciaire weichselien à Lille (Vallée de la Deûle, bassin de l'Escaut, France). *Quaternaire*, 23 (1), 117-127. doi: 10.4000/quaternaire.8513
- DESCHODT L., 2014 - Chronostratigraphie et paléoenvironnements des fonds de vallée du bassin français de l'Escaut. Thèse de Doctorat, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Paris, 632 p. doi: 10.13140/2.1.2497.1842
- DESCHODT L., 2019 - Stratigraphie, dynamique fluvio-éolienne et héritages du Pléniglaciaire weichselien dans les basses plaines du bassin français de l'Escaut (nord de la France). *Quaternaire*, 30 (4), 275-310. doi: 10.4000/quaternaire.12444
- DESCHODT L., SALVADOR P.-G. & BOULEN M., 2004 - Formations sédimentaires et évolution de la vallée de la Deûle depuis le Pléniglaciaire supérieur à Houplin-Ancoisne (Nord de la France). *Quaternaire*, 15 (3), 269-284.
- DESCHODT L., LIMONDIN-LOZOUET N., TEHEUX E., LANTOINE J. & AUGUSTE P., 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. doi: 10.4000/quaternaire.457
- DESCHODT L., SALVADOR P.-G., FERAY P. & SCHWENNINGER J.-L., 2012 - Transect partiel de la plaine de la Scarpe (Bassin de l'Escaut, Nord de la France). Stratigraphie et évolution paléogéographique du Pléniglaciaire supérieur à l'Holocène récent. *Quaternaire*, 23 (1), 87-116. doi: 10.4000/quaternaire.8513
- DESCHODT L., ANTOINE P., PETITE Y., VIRMOUX C. & HULLIN G., 2013 - Waziers, gisement eemien : note intermédiaire au 27 septembre 2013. Note, Service Régional de l'Archéologie du Nord-Pas-de-Calais, 27 p.
- DESCHODT L., ANTOINE P., JAMET G., PETITE Y., HÉRISSON D., COUTARD S. & LIMONDIN-LOZOUET N., 2022 - Waziers «Bas-Terroir» (Plaine de la Scarpe, Nord de la France) : synthèse lithostratigraphique des observations effectuées de 2011 à 2015. *Quaternaire*, 33 (4).
- DESCHODT L., HÉRISSON D., ANTOINE P., LOCHT J.-L., GAUTHIER A., LIMONDIN-LOZOUET N., AUGUSTE P., BAHAIN J.-J., GHALEB B., MARÉCHAL C., VALLIN L., LEBRETON L., AUDIARD B., HULIN G., JAMET G., SHAO Q., FALGUÈRES C., LÉCUYER C., AMIOT R., FOUREL F., STOETZEL E., BAILLON S., MASSON B., COUTARD S., SÉVÈQUE N., LOUGUET S., PETITE Y. & VIRMOUX C., soumis - Waziers «Bas-Terroir» (Plaine de la Scarpe, Nord de la France) : Synthèse des études sur les observations 2011-2015 et mise en évidence d'un enregistrement sédimentaire continu de la fin du Saalien (SIM6) à l'optimum eemien (SIM5e). *Quaternaire*, soumis.
- FOURRIER H., 1989 - La plaine de la Scarpe et ses bordures (Nord de la France). Analyse séquentielle des formations superficielles. Aspects des sols. Thèse de Doctorat, Université de Lille 1, Lille, 304 p.
- FOURRIER H., 1992 - Données nouvelles sur les formations superficielles de la plaine de la Scarpe et de ses bordures (Nord de la France). *Hommes et Terres du Nord*, 1992 (4), 206-216. doi: 10.3406/htn.1992.2379
- GAUTHIER A., 2022 - Dynamique de la végétation et changements climatiques à la transition Saalien-Eemien à Waziers, Nord de la France. Résultats de l'analyse palynologique. *Quaternaire*, 33 (4).
- HÉRISSON D. (DIR.), 2016 - Rapport de fouille programmée Waziers «Le Bas Terroir». Rapport de fouille programmée 2015, Service Régional d'Archéologie des Hauts-de-France, Lille, 124 p.
- HÉRISSON D. (DIR.), 2017 - Rapport de fouille programmée Waziers «Le Bas Terroir». Bilan de la triennale 2014-2016. Rapport de fouille programmée 2016, Service Régional d'Archéologie des Hauts-de-France, Lille, 166 p.
- HÉRISSON D. (DIR.), 2018 - Rapport de fouille programmée Waziers «Le Bas Terroir». Première année de la triennale 2017-2019. Rapport de fouille programmée 2017, Service Régional d'Archéologie des Hauts-de-France, Lille, 241 p.
- HÉRISSON D., AUGUSTE P., DESCHODT L., LOCHT J.-L., SÉVÈQUE N., VALLIN L., LOUGUET S. & MASSON B., soumis - Waziers, Le Bas-Terroir : un nouveau gisement témoignant de passages discrets mais récurrents de Néandertaliens depuis le Tardiglaciaire du SIM 6 à l'optimum eemien (SIM 5e) dans le Nord de la France. *Quaternaire*.
- HULIN G. & VIRMOUX C., 2022 - Waziers «Bas-Terroir» (Plaine de la Scarpe, Nord de la France) : les explorations géophysiques d'une formation alluviale eemienne. *Quaternaire*, 33 (4).
- LACROIX S. (DIR.), com. pers. - Rapport de fouilles Waziers «le Bas Terroir». Rapport de fouilles préventives 2013, Service Régional du Nord-Pas-de-Calais, Lille.
- LIMONDIN-LOZOUET N. & ANTOINE P., 2006 - A new Lyrodiscus (Mollusca, Gastropoda) assemblage from Saint-Acheul (Somme Valley): a reappraisal of MIS 11 malacofaunas from northern France. *Boreas*, 35 (4), 622-633. doi: 10.1111/j.1502-3885.2006.tb01168.x
- LIMONDIN-LOZOUET N., ANTOINE P., AUGUSTE P., BAHAIN J.-J., CARBONEL P., CHAUSSÉ C., CONNET N., DUPÉRON J., DUPÉRON M., FALGUÈRES C., FREYTET P., GHALEB B., JOLLY-SAAD M.-C., L'HOMME V., LOZOUET P., MERCIER N., PASTRE J.-F. & VOINCHET P., 2006 - Le tuf calcaire de La Celle-sur-Seine (Seine et Marne) : nouvelles données sur un site clé du stade 11 dans le Nord de la France. *Quaternaire*, 17 (2), 5-29, doi: 10.4000/quaternaire.720
- LOCHT J.-L. (DIR.), 2014 - Rapport de fouille programmée Waziers «Le Bas Terroir». Rapport de fouille programmée 2014, Service Régional d'Archéologie du Nord-Pas-de-Calais, Lille, 138 p.
- LOCHT J.-L., HÉRISSON D., GOVAL E., CLIQUET D., HUET B., COUTARD S., ANTOINE P. & FERAY P., 2016 - Timescales, space and culture during the Middle Palaeolithic in northwestern France. *Quaternary International*, 411, 129148, doi: 10.1016/j.quaint.2015.07.053
- LOCHT J., AUGUSTE P., DESCHODT L. & LANTOINE J., 2020 - Waziers, Route de Tournai. Rapport de diagnostic archéologique, Inrap Hauts-de-France, Glisy, 68 p.
- LOUIS É., 1990 - L'alimentation de Douai en eau, au Moyen Âge. In P. Demolon, H. Halbout, É. Louis & M. Louis-Vanbaucé (eds.), Douai, cité médiévale : bilan d'archéologie et d'histoire. *Archaeologia Duacensis*, 3, Société Archéologique de Douai, Douai, 5-40.
- LOUIS É. & COLLETTE O., 2009 - Douai et les détournements de la Scarpe IX^e-XI^e s. *Revue du Nord*, HS 14, 81-100.
- MUNAUT A.-V., SOMMÉ J. & DEMOLON P., 1995 - Tardiglaciaire (Allerød) et Holocène ancien dans la vallée de la Scarpe à Douai (Nord de la France). *Quaternaire*, 6, (3), 167172, doi: 10.3406/quate.1995.2049.
- RORIVE S., BUSTOS C., GUTIERREZ C., LEFEBVRE S., LOUIS É. & PETITE Y., 2012 - Rapport de diagnostic Waziers «le Bas Terroir», chemin de Bourdeau (Nord), site 618-11. Rapport de diagnostic préventif 2011, Service Régional du Nord-Pas-de-Calais, Lille, 178 p.
- SAVE S., 2013 - Rapport de datation radiocarbone d'un prélèvement de tourbe réalisé sur le site de Waziers, «chemin de Bourdeau» (59). Rapport de diagnostic 156770 (SRA 12-289), 640-13 Waziers, «Les Bas-Terroir», route de Tournai, Amélie, Fresnes-en-Saulnois, 11 p.
- SERGEANT S., PETITE Y., LEHNEBACH C., LOUGUET-LEFEBVRE S., LEBRUN M. & RORIVE S., 2013 - Rapport de diagnostic Nord-Pas-de-Calais / Nord (59), Waziers, Route de Tournai, «Le Bas-Terroir», tranche 2. Rapport de diagnostic préventif 2013, Service Régional du Nord-Pas-de-Calais, Lille, 181 p.

WAZIERS «BAS-TERROIR» (PLAINE DE LA SCARPE, NORD DE LA FRANCE): SYNTHÈSE LITHOSTRATIGRAPHIQUE DES OBSERVATIONS EFFECTUÉES DE 2011 À 2015

Laurent DESCHODT^{1,2}, Pierre ANTOINE², Guillaume JAMET^{2,3}, Yann PETITE⁴, David HÉRISSON⁵, Sylvie COUTARD^{1,2} & Nicole LIMONDIN-LOZOUET²

RÉSUMÉ

Les observations stratigraphiques effectuées sur le site de Waziers «Le Bas-Terroir» entre 2011 et 2015 sont réparties sur environ 12 ha et ont été réalisées dans des contextes d'intervention divers (Hérisson *et al.*, 2022) et selon différentes méthodes complémentaires : sondages en puits à la pelleuse, sondages géotechniques, sondages à la tarière hydraulique, carottages, coupes détaillées). Après avoir localisé et présenté les principales informations acquises pour chaque jeu d'observations, nous en faisons la synthèse stratigraphique principalement d'après les levés détaillés des fouilles 2014-2015. Nous définissons sept grandes unités stratigraphiques de synthèse éventuellement divisées en sous-unités, avec de bas en haut : US1 substrat ante-quaternaire, US2 dépôts quaternaires de versant, US3 nappe alluviale grossière, US4 limon alluvial clair localement affecté par des figures de charge, US5 ensemble d'alluvions limoneuses ou tourbeuses, US6 ravinements et remaniements des dépôts antérieurs, US7a nappe alluviale grossière puis US7b-c dépôts fluvio-éoliens. Les biozones définies par malacologie (Limondin-Lozouet, 2022) et palynologie (Gauthier, 2022) autorisent des corrélations entre les fouilles 2014-2015, les observations «puisard» et sondage carotté «SC» (distantes d'environ 300 mètres) ainsi qu'une première attribution chronologique : Saalien pour le membre 1 (US3 et US4), Eemien pour le membre 2 (US5). Le regroupement des membres 1 et 2 définit la Formation de Waziers. Le caractère extensif des observations et les études géophysiques (Hulin & Vermoux, 2022), permettent d'appréhender la grande étendue de la Formation dont les limites amont et aval ne sont pas encore connues.

Le cadre lithostratigraphique présenté ici permet de repositionner les différentes études associées à la Formation de Waziers : palynologie (Gauthier, 2022), macrorestes végétaux (Audiard *et al.*, soumis), malacologie (Limondin-Lozouet, 2022), faunes (Auguste *et al.*, 2022), microfaunes (Lebreton *et al.*, sous presse), protéogénomiques (Bray *et al.*, soumis), datations ESR et U/Th (Bahain *et al.*, 2022), géochimie isotopique sur dent de grand mammifère (Maréchal *et al.*, 2022) et archéologiques (Hérisson *et al.*, soumis) avant d'en faire la synthèse (Deschodt *et al.*, soumis).

Mots-clés : Lithostratigraphie, alluvions, chenal, Eemien, Formation de Waziers, Nord de la France.

ABSTRACT

WAZIERS (SCARPE PLAIN, NORTHERN FRANCE): LITHOSTRATIGRAPHIC SYNTHESIS OF OBSERVATIONS CONDUCTED FROM 2011 TO 2015.

The stratigraphic observations conducted at Waziers "Le Bas-Terroir" between 2011 and 2015 are spread over approximately 12 ha and were carried out in various intervention contexts (Hérisson *et al.*, 2022) using different methods : mechanical pit surveys, geotechnical borings, mechanical auger surveys, and detailed cross-sections. After locating and presenting the main information acquired for each set of observations, we synthesize the stratigraphy mainly from the detailed surveys of the 2014-2015 excavations. We define seven main stratigraphic units, possibly divided into sub-units, from bottom to top: US1 ante-Quaternary substratum, US2 Quaternary slope deposits, US3 coarse alluvial silt, US4 light alluvial silt locally affected by load-casts, US5 silty or peaty alluvial deposits, US6 gullies and reworking of previous deposits, US7a coarse alluvial sheet and US7b-c fluvio-aeolian deposits. The biozones defined by malacology (Limondin-Lozouet, 2022) and palynology (Gauthier, 2022) allow correlations between the 2014-2015 excavations and the observations of the "puisard" (sump) pit and "SC" core samples (about 300 meters away) and a first chronological attribution: Saalien for member 1 (US4 and US5), Eemian for member 2 (US5). The merging of Members 1 and 2 defines the Waziers Formation. The extensive nature of the observations and the geophysical studies (Hulin & Vermoux, 2022), make it possible to apprehend the great extent of the ancient alluvial deposits whose upstream and downstream limits are not yet known.

The lithostratigraphic framework presented here allows us to reposition the different studies associated with the deposit: palynology (Gauthier, 2022), macro-plant remains (Audiard *et al.*, submitted), malacology (Limondin-Lozouet, 2022), mammals (Auguste *et al.*, 2022), micro-mammals (Lebreton *et al.*, sous presse), proteogenomics (Bray *et al.*, submitted), ESR and U/Th dating (Bahain *et al.*, 2022), isotopic geochemistry on large mammal teeth (Maréchal *et al.*, 2022) and archaeological data (Hérisson *et al.*, submitted), before synthesizing them (Deschodt *et al.*, submitted).

Keywords: Lithostratigraphy, alluvium, channel, Eemian, Waziers Formation, North of France.

¹ INRAP Hauts-de-France, 32 Avenue de l'Etoile du Sud, FR-80440 GLISY. *Courriels* : laurent.deschodt@inrap.fr ; sylvie.coutard@inrap.fr

² CNRS-UMR 8591 - Univ. Paris 1-UPPEC, Laboratoire de Géographie Physique, Environnements Quaternaires et actuels. CNRS, 2 rue Henri Dunant, FR-94320 THIAIS. *Courriels* : pierre.antoine@lgp.cnrs.fr ; nicole.lozouet@lgp.cnrs.fr

³ GÉOARCHEON, 30 rue de la Victoire, FR-55210 VIÉVILLE-SOUS-LES-CÔTES. *Courriel* : guillaume.jamet@geoarcheon.fr

⁴ Service Archéologie, Métropole Nice Côte d'Azur, 107 route de Canta Galet, FR-06200 NICE. *Courriel* : yann.petite@nicedotazur.org

⁵ CNRS-UMR7041 ArScAn, équipe AnTET. MSH Mondes. 21 allée de l'Université. FR-92023 NANTERRE, cedex. *Courriel* : david.herisson@cnrs.fr

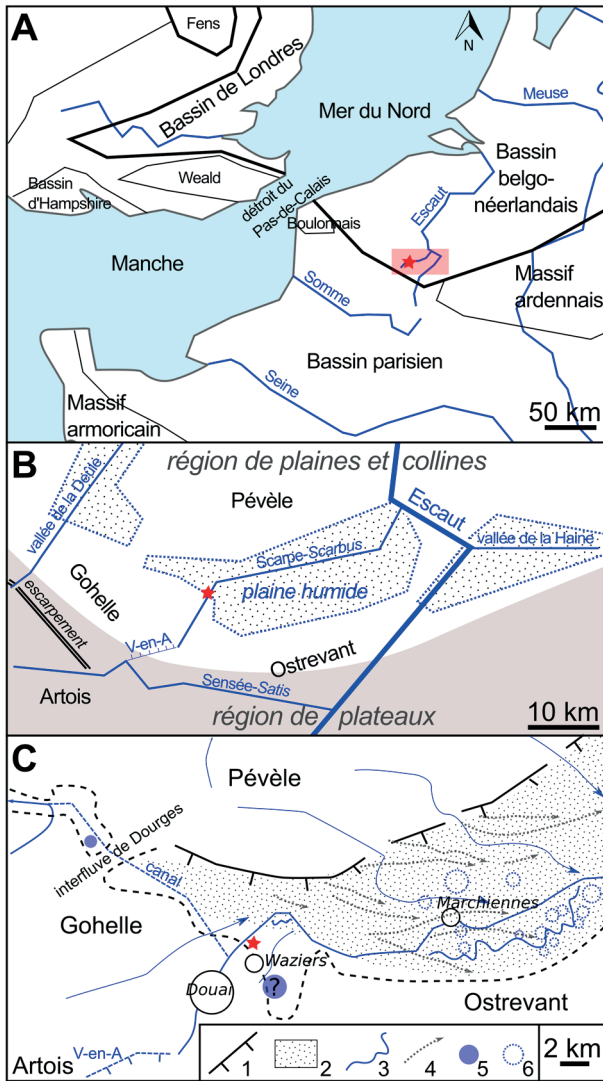


Fig. 1 : Localisation du site de Waziers «Bas-Terroir».

(A) Localisation dans les grands ensembles morpho-structuraux au nord du Bassin parisien; étoile/ Waziers, cadre rouge/ Localisation de la carte B. (B) Localisation dans la plaine de la Scarpe et les micro-régions avoisinantes; étoile/ Waziers, V-en-A/ Capture anthropique via Vitry-en-Artois de la Sensée-Satis vers la Scarpe-Scarbus (partie section amont de la Scarpe actuelle). (C) Localisation dans le système morpho-stratigraphique de l'est de la plaine de la Scarpe; 1/ Cuesta, 2/ Sable affleurant (d'après Fourrier, 1989), ailleurs: couverture loessique du Pléniglaciaire weichselien, 3/ Morphologie fluviale méandri-forme héritée du Pléniglaciaire weichselien, 4/ Petites dunes linéaires développée au Pléniglaciaire weichselien, 5/ Système lacustre développé au Tardiglaciaire weichselien (Deschodt *et al.*, 2005; Collette, 2007), 6/ Dépressions thermokarstiques.

*Fig. 1: Location of the Waziers 'Bas-Terroir' site. (A) Location in the large morpho-structural ensembles in the north of the Paris Basin; star/ Waziers, red frame/ Location of map B. (B) Location in the Scarpe plain and neighbouring micro-regions; star/ Waziers, V-in-A/ Anthropogenic capture via Vitry-en-Artois of the Sensée-Satis to the Scarpe-Scarbus (upstream section of the present Scarpe). (C) Location in the morpho-stratigraphic system of the eastern Scarpe plain; 1/ Cuesta, 2/ Outcropping sand (after Fourrier, 1989), elsewhere: Weichselian Pleniglacial loessic cover, 3/ Weichselian Pleniglacial inherited meandering fluvial morphology, 4/ Weichselian Pleniglacial developed small linear dunes, 5/ Weichselian Late Glacial lake system (Deschodt *et al.*, 2005; Collette, 2007), 6/ Thermokarst depressions.*

1 - CONTEXTE ET MÉTHODE

Depuis les premières investigations archéologiques menées en 2011, le lieu-dit «Bas-terroir» sur la commune de Waziers, dans le Nord de la France (fig. 1) a fait l'objet de multiples observations stratigraphiques sur des alluvions et des tourbes, riches en bois et restes paléontologiques, sous les dépôts loessiques du dernier cycle glaciaire. Elles se sont multipliées depuis leur attribution en 2013 à l'Emien (suite à une étude malacologique et à une datation U/Th avec une probabilité d'âge supérieure à environ 103 ka). Des investigations sont encore en cours. Pour une présentation du contexte géographique et de l'historique des recherches, se référer à Hérissou *et al.* (Hérissou *et al.*, 2022). Dans le présent article, nous localisons, présentons et synthétisons les données lithostratigraphiques acquises jusqu'en 2015. Les nouvelles données acquises depuis, que ce soit dans le cadre de l'archéologie programmée (Hérissou *et al.*, 2017) ou préventive (Locht *et al.*, 2020) complètent cette stratigraphie sans la remettre en cause. Elles ne sont pas traitées ici.

Nous constatons la grande variabilité des dépôts sédimentaires dans l'espace et dans le temps (variations latérales rapides, érosions et hiatus). La lithologie reste dans la gamme des graviers, sables, limons et tourbes. Dans cet article, nous fondons la lithostratigraphie sur les fouilles de 2014 et 2015 où des coupes ont pu être levées précisément à l'échelle des dépôts élémentaires (parfois un simple lit ou des lamines). Nous distinguons ces unités stratigraphiques de détail (abrégées en «ud») et présentées dans leur intégralité dans les différents rapports: Locht *et al.*, 2014; Hérissou *et al.*, 2015) des unités stratigraphiques de synthèse (abrégées en «US») qui regroupent en un ensemble cohérent plusieurs ud. La compréhension de la stratigraphie acquise à l'issue de la fouille 2015 est comparée aux observations et études plus distantes effectuées auparavant. Elle pose le cadre de l'ensemble des études dont les résultats sont exposés dans le présent volume (archéologie, géochronologie, paléontologie, analyses isotopiques).

2 - LES DONNÉES

2.1 - LOCALISATION ET NATURE DES OBSERVATIONS EFFECTUÉES ENTRE 2011 ET 2015

La figure 2 localise chaque série d'observations (pour une présentation générale du contexte géographique et administratif des observations, voir Hérissou *et al.* (Hérissou *et al.*, 2022).

2.1.1 - Sondages en puits du diagnostic d'archéologie préventive de 2011

Sept sondages en puits à la pelleuse entre 2 et 4,2 m de profondeur ont été réalisés dans le cadre d'un diagnostic archéologique en 2011 (fig. 2A). Le sondage le plus profond au nord-ouest de l'emprise a rencontré à 3,3 m de profondeur, soit de 17,5 à 16,5 m IGN69, la formation tourbeuse, qui surmontait un limon travertineux de 16,5 à 15,8 m IGN69 (fig. 2A, n° 7, Rorive *et al.*, 2012; Sergent *et al.*, 2013).

2.1.2 - Rapport géotechnique, campagne 2011

L'aménagement de la zone a donné lieu à une campagne de sondages géotechniques (Carneau, 2012). Elle comportait 5 sondages de reconnaissance lithologique à 8 m ou plus (fig. 2B). Les sondages 1 et 3, au nord de l'emprise, ont rencontré la tourbe. L'ensemble des sondages géotechniques a été exploité pour mieux appréhender la nature et la topographie du *bedrock* (Sergent *et al.*, 2013; Antoine *et al.*, 2013).

2.1.3 - Sondages du diagnostic d'archéologie préventive de 2013

2.1.3.1 - Sondages en puits

En 2013, quatre sondages en puits à la pelle mécanique ont été réalisés entre 2,5 et 4 m de profondeur lors d'un nouveau diagnostic contigu au précédent par Yann Petite (fig. 2C, Sergent *et al.*, 2013). Le sondage (2) a rencontré un dépôt organique en profondeur. Le sondage le plus au nord (4) a rencontré à 3 m de profondeur la formation tourbeuse où se trouvait un radius d'aurochs présentant une fracturation hélicoïdale d'origine anthropique ainsi qu'un éclat levallois.

2.1.3.2 - Sondage en paliers

Les éléments provenant du sondage 4 ont justifié le creusement d'un sondage en paliers (numéroté 5) en février 2013 avec une descente physique et une fouille des niveaux (fig. 2C). La stratigraphie a été décrite par Yann Petite, la faune mammalienne (*Bos primigenius*, *Capreolus capreolus*, *Cervus elaphus*) par Sophie Louguet-Lefebvre et l'avifaune (anatidés et indéterminés) par Camille Lehnebach. L'ensemble des données a été intégré dans le rapport du diagnostic (Sergent *et al.*, 2013). Malgré l'attention apportée, aucune autre pièce d'industrie lithique n'a été trouvée dans le sondage 5. L'excavation de la fouille programmée réalisée en 2014 est la reprise et l'extension de ce sondage.

2.1.4 - Observation dite du « puisard » lors de la fouille préventive historique 2013

2.1.4.1 - Circonstance de l'observation

L'inondation par les eaux pluviales de la fouille prescrite sur des vestiges gallo-romains à l'issue du diagnostic archéologique de 2011 a nécessité au printemps 2013 le creusement d'un puisard (fig. 2D, Hérisson *et al.*, 2022). Cet ouvrage technique a été l'occasion d'effectuer une nouvelle observation qui a donné lieu à un levé schématique et permis le prélèvement d'échantillons volumineux destinés à une première étude malacologique.

2.1.4.2 - Stratigraphie

Le « puisard » (fig. 3) a rencontré une alluvion (ud16) de graviers de craie à 5,5 m de profondeur (à près de 15 m IGN69). Cette nappe est recouverte par quelques décimètres d'un sable limoneux avec débris végétaux et mollusques (ud15). Un éclat Levallois en silex noir non

patiné a été trouvé en position remaniée dans les déblais provenant de cette unité. Au-dessus se développe plus d'un demi-mètre de limon tufacé calcaire fin riche en malacofaunes (ud14). L'unité est presque exclusivement composée d'oogones de Characées (gyrogonites de 0,5 à 1 mm composés de calcite). Sa limite supérieure est perturbée par des figures de charge. Une tourbe litée (ud13) se développe ensuite sur plus d'un mètre d'épaisseur avec malacofaune, débris de bois et restes de faune mammalienne. Elle est largement érodée par une ravine (ou une bordure de chenal ?) comblée par de nouveaux dépôts grossiers constitués de graviers de craie avec une matrice sablo-limoneuse gris bleutée (ud12). L'ensemble est scellé par des litages sablo-limoneux (ud9 et ud11) qui contiennent de nombreux fragments de bois et débris végétaux flottés probablement remaniés à partir de la tourbe. Les lits intègrent des graviers de craie et de la faune mammalienne remaniée (ud10). La partie supérieure de la stratigraphie du puisard (base à 3,3 m de profondeur, vers 17,5 m IGN69) est composée de sable lité (ud7) qui contient une nappe superficielle (arrivée d'eau) passant vers le haut à des dépôts de limon et de sable calcaire régulièrement lités partiellement décarbonatés jusqu'à 1,2 m de profondeur à 19,6 m IGN 69. Un limon est présent en subsurface (ud2). Il passe sous la limite de décarbonatation où nous pouvons observer sans ambiguïté son origine de loess typique calcaire (ud3).

La géométrie des unités ud2 à ud7 suggère la présence d'un chenal actif avec un sable en charge de fond (ud7) passant vers le haut à des dépôts limono-sableux (fluvio-éoliens, ud6 à ud4) et finalement comblé par un loess sans plus aucune trace d'écoulement (ud3 et ud2).

2.1.4.3 - Malacocénose et attribution du dépôt à un interglaciaire pléistocène

Les unités inférieures (ud11 à 15) ont fait l'objet d'une étude malacologique (tab. 1, fig. 4; Limondin-Lozouet, inédit). Douze espèces terrestres et dix-neuf espèces de mollusques aquatiques sont recensées, avec une prédominance du milieu aquatique. Le dépôt de l'ud14 est constitué presque exclusivement d'oogones de Characées, cet environnement est le plus favorable au développement de la malacofaune. De l'ud15 à l'ud13 s'observe la diversification régulière et rapide des cortèges. À la base de l'ud15, l'échantillon Ma6 contient une fraction notable de mollusques terrestres qui regroupe des espèces à large valence écologique (*Pupilla muscorum*, *Trochulus hispidus*, *Oxyloma elegans*), capables de survivre en France septentrionale durant les phases froides et humides (Puisségur, 1976; Limondin-Lozouet, 2002). Parallèlement, la fraction aquatique est composée d'espèces assez communes durant le Quaternaire mais surtout recensées durant les interstades et les interglaciaires (*Valvata piscinalis*, *V. cristata*, *Radix labiata*), puis dès la partie supérieure de l'ud15, dans l'échantillon Ma5, le cortège malacologique s'enrichit de gastéropodes pionniers que l'on trouve fréquemment au début des phases tempérées interglaciaires (*Gyraulus laevis*, *Armiger crista*; Gittenberger *et al.*, 1998). Dans l'ud14, les effectifs s'accroissent considérablement. Le

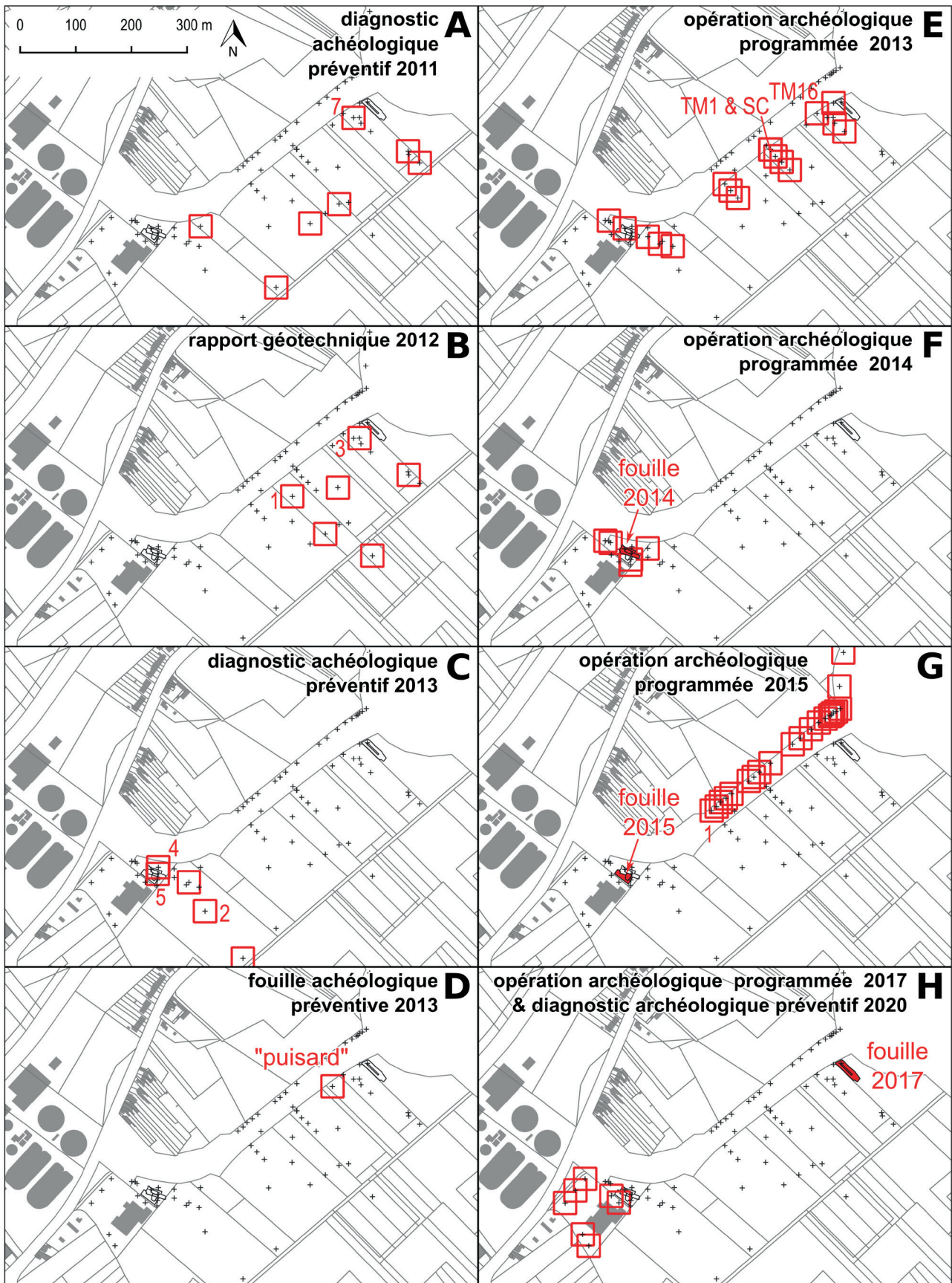


Fig. 2 : Localisation des observations de détail sur le fond cadastral.

(A) Sondages en puits 2011, contexte archéologique préventif (Rorive *et al.* 2012). (B) Sondages géotechniques (Carneau, 2012). (C) Sondages en puits 2013, contexte archéologique préventif (Sergent *et al.*, 2013). (D) Observation dite du « puisard », contexte archéologique préventif (Sergent *et al.*, 2013; Deschodt, 2014). (E) Sondages à la tarière mécanique et sondage carotté 2013, contexte archéologique programmé (Antoine *et al.*, 2013). (F) Sondages en puits et fouille 2014, contexte archéologique programmé (Locht *et al.*, 2014). (G) Sondage en puits et fouille 2015, contexte archéologique programmé (Hérisson *et al.*, 2015). (H) Fouille 2017, contexte archéologique programmé (Hérisson *et al.*, 2017); sondages en puits 2020, contexte archéologique préventif (Locht *et al.*, 2020).

*Fig. 2: Location of detailed observations over cadastral basemap. (A) 2011 test pits, preventive archaeological context (Rorive *et al.* 2012). (B) Geotechnical borings (Carneau, 2012). (C) 2013 test pits borings, preventive archaeological context (Sergent *et al.*, 2013). (D) 'Sump' pit observation, preventive archaeological context (Sergent *et al.*, 2013; Deschodt, 2014). (E) Mechanical auger and core borings 2013, programmed archaeological context (Antoine *et al.*, 2013). (F) 2014 test pits and excavation, programmed archaeological context (Locht *et al.*, 2014). (G) 2015 test pits and excavation, programmed archaeological context (Hérisson *et al.*, 2015). (H) 2017 excavation, programmed archaeological context (Hérisson *et al.*, 2017); 2020 test pits, preventive archaeological context (Locht *et al.*, 2020).*

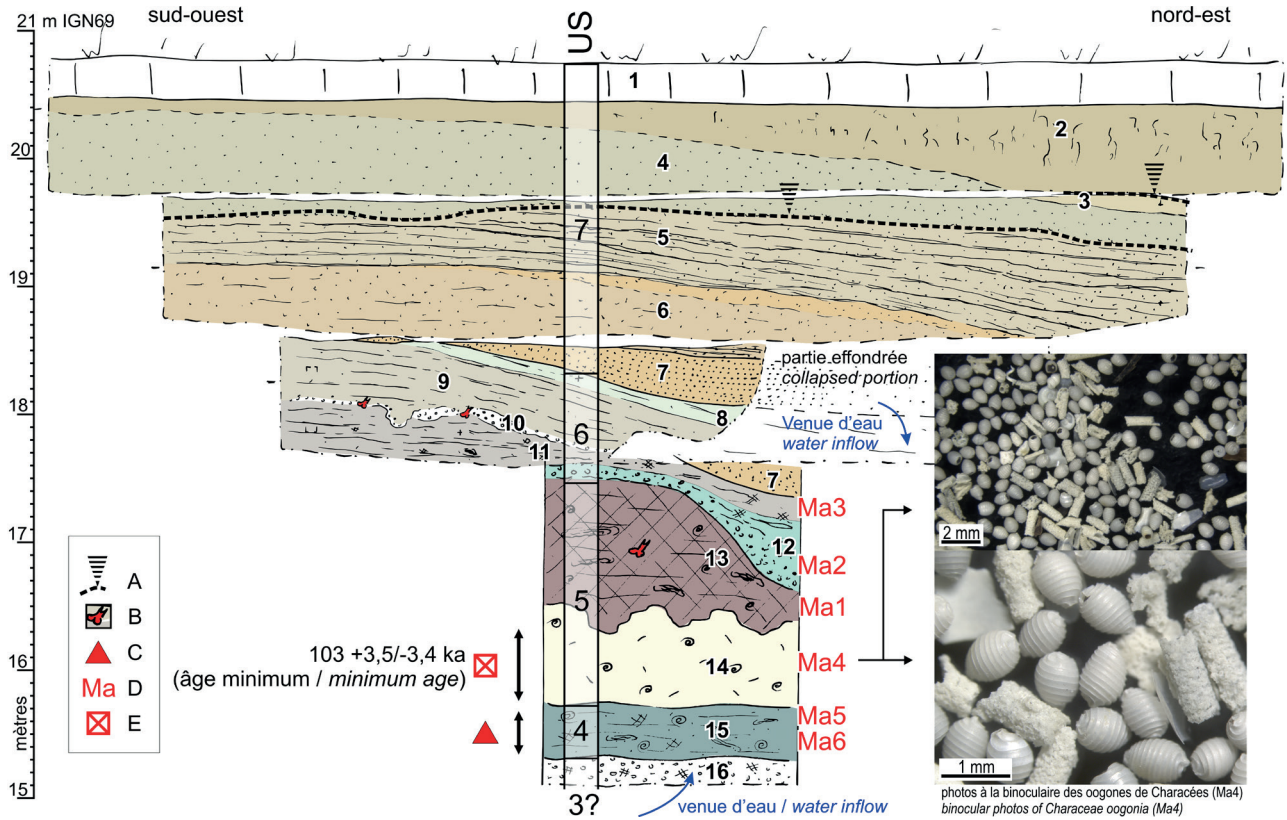


Fig. 3 : Stratigraphie de l'observation dite du « puisard ».

Localisation sur la fig. 1D. (A) Limite de décarbonatation. (B) Présence de faune mammalienne. (C) Éclat Levallois, position approximative (trouvé en déblais), indication N0 sur la fig. 14. (D) Malacozones. (E) U/Th datation, cf. Bahain *et al.*, 2022. USn/ Corrélations possibles avec les unités stratigraphiques de synthèse des fouilles 2014-2015. 1/ Sol de surface: horizon de labour, 2/ Sol de surface: horizon argileux décarbonaté compact (BT) issu de la décarbonatation de l'ud3, 3/ Limons loessiques calcaires, 4/ Sable terne verdâtre issu de la décarbonatation de ud5, 5/ Sable lité à grandes stratifications faiblement obliques soulignées par des concentrations calcaires, 6/ Sable calcaire lité, quelques lamines limoneuses, 7/ Sable moyen à grossier, régulièrement lité, discordant par rapport à ud8, rétention d'une nappe perchée, 8/ Lits de sédiments fins, limono-argileux, gris bleuté, 9/ Sables limono-organiques lités, gris, litages réguliers plus sombres avec présence épisodique de fragments de tourbe remaniée, coquilles de mollusques brisées, 10/ Lit graveleux (craie, grès glauconieux), présence de faune mammalienne osseuse remaniée, 11/ Id. ud9, de plus en plus sombre vers le bas, multiplication des éléments organiques (tourbe et bois) remaniés, 12/ Gravieres de craie dans une matrice sablo-limoneuse gris bleue, nombreux bois remaniés, 13/ Tourbe silteuse brune à bois flottés et mollusques, 14/ Limons sableux carbonatés homogènes à faciès tufacé fin avec restes de bois et mollusques, 15/ Sables silto-organiques gris verts à débris végétaux et mollusques, 16/ Gravieres de craie roulés, quelques graviers de grès glauconieux, rares silex, matrice limono-sableuse, présence de petits débris tourbeux et de fragments végétaux au sein de l'unité.

*Fig. 3: Stratigraphy of the 'sump' observation pit. Location in fig. 1D. (A) Limit of decarbonation. (B) Presence of mammalian fauna. (C) Levallois flake, approximate position (found in excavations), indication N0 in fig. 14. (D) Malacozones. (E) U/Th dating, cf. Bahain *et al.*, 2022, this issue. USn/ Possible correlations with stratigraphic synthesis units from 2014-2015 excavations, 1/ Surface soil: plow horizon, 2/ Surface soil: Compact decarbonated clay horizon (BT) from decarbonation of ud3, 3/ Calcareous loessic silts, 4/ Greenish dull sand from decarbonation of ud5, 5/ Bedded sand with large, low oblique stratifications emphasized by calcareous concentrations, 6/ Bedded calcareous sand, a few silty laminae, 7/ Medium to coarse sand, evenly bedded, discordant with respect to ud8, retention of a suspended water table, 8/ Fine, silty-clayey, bluish-grey beds, 9/ Grey, bedded silty-organic sands, regular darker beds with episodic presence of fragments of reworked peat, broken mollusc shells, 10/ Gravelly bed (chalk, glauconitic sandstone), presence of reworked mammalian bone fauna, 11/ Id. ud9, darker and darker towards the bottom, multiplication of organic elements (peat and wood) reworked, 12/ Chalk gravels in a blue-grey sandy-silt matrix, numerous reworked woods, 13/ Brown silty peat with driftwood and molluscs, 14/ Homogeneous carbonate sandy loam with fine tuffaceous facies with remains of wood and molluscs, 15/ Green-gray silt-organic sands with plant debris and molluscs, 16/ Rolled chalk gravels, some glauconitic sandstone gravels, rare flints, sandy-silt matrix, presence of small peaty debris and plant fragments within the unit.*

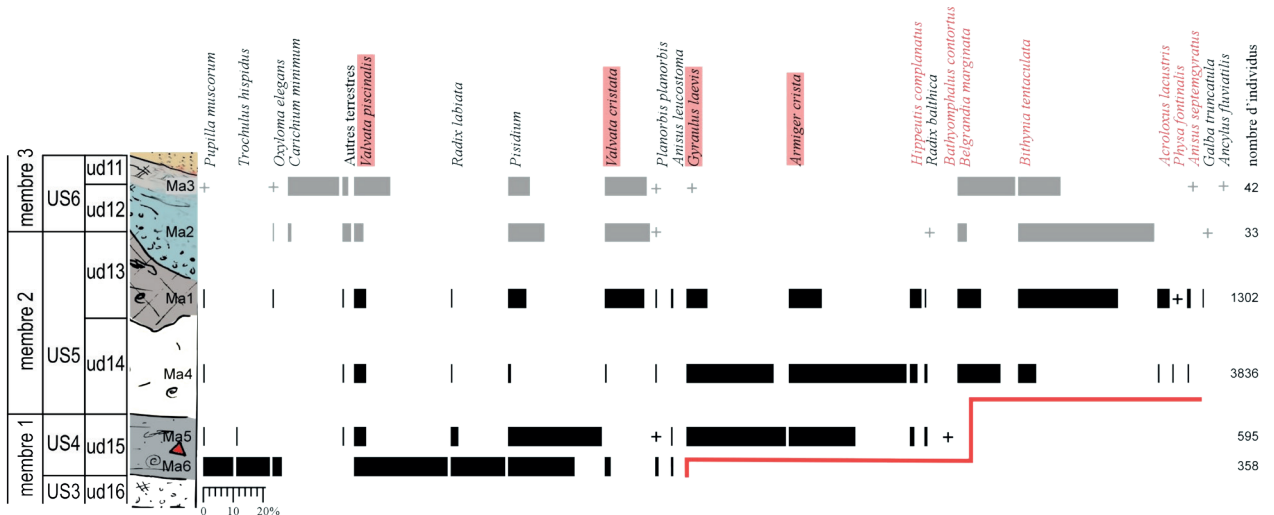


Fig. 4 : Décompte et localisation des espèces de mollusques provenant de la base de l'observation « puisard » 2013.

Les espèces sur fond rouge sont des mollusques pionniers. Les espèces en rouge sont thermophiles et plus exigeantes. Elles requièrent des conditions climatiques interglaciaires.

Fig. 4: Count and location of mollusc species from the base of 2013 'sump' pit. Species on red background are pioneer molluscs. Species in red are more demanding thermophiles. They require interglacial climatic conditions.

milieu est très calme du point de vue des dynamiques hydro-sédimentaires (limon tufacé calcaire fin). Il est aussi favorable au développement des populations malacologiques qui s'enrichissent de nouvelles espèces de gastéropodes aquatiques caractéristiques des phases interglaciaires (*Hippeutis complanatus*, *Bithynia tentaculata*, *Physa fontinalis*). Parmi elles, deux sont particulièrement notables (*Belgrandia marginata* et *Anisus septemgyratus*) car elles signent l'attribution des dépôts à une phase interglaciaire du Pléistocène. Ces deux espèces font partie des cortèges récoltés dans les dépôts interglaciaires du Pléistocène moyen et récent du nord de la France (Limondin-Lozouet & Antoine, 2006; Limondin-Lozouet *et al.*, 2006; Antoine *et al.*, 2006). Le même cortège se maintient dans l'ud13. Les deux prélèvements supérieurs sont beaucoup moins riches et ne permettent pas une interprétation paléoenvironnementale fiable.

2.1.4.4 - Première datation radionumérique U/Th

Un échantillon de gyrogonites (oogones de Characées en calcite pure) extrait de l'ud14 par un tamisage à 500 µm puis séparé sous loupe binoculaire par N. Limondin-Lozouet a pu être daté par U/Th (étude B. Ghaleb, Hérisson *et al.*, 2015). L'âge calculé de 103 ± 3,5/-3,4 ka doit être considéré comme un âge minimal en raison d'une incorporation d'Uranium postérieure à l'enfouissement initial (tab. 2).

2.1.5 - Campagne de sondages à la tarière mécanique et sondage carotté 2013

2.1.5.1 - Observations et études entreprises

Les opérations programmées sur le gisement de Waziers ont commencé par une reconnaissance géophysique (Hulin & Virmoux, 2022) et une campagne de reconnaissance de la stratigraphie menée avec la sondeuse hydraulique du LGP-CNRS-Meudon équipée d'une tarière hélicoïdale de 100 mm de diamètre (fig. 2E) dans le but de circonscrire la présence des dépôts pléistocènes (Antoine *et al.*, 2013). La sondeuse équipée d'un carottier de 80 mm avec extracteur et gaine PVC a permis d'effectuer un sondage carotté de 5 m de profondeur (SC, 5 tubes PVC de 1000 x 80 mm) à proximité immédiate d'un sondage à la tarière préalablement réalisé (TM1) afin de l'étalonner et de le positionner dans la stratigraphie (figs. 5 & 6). Le tube n° 5 du SC a fait l'objet d'une étude palynologique, d'une analyse du taux de carbonates et de carbone organique total (COT). Méthode et résultats de l'étude palynologique sont présentés dans un article distinct (Gauthier, 2022). Les palynozones participent à proposer des corrélations entre unités distantes (partie 3).

2.1.5.2 - Mesure du COT et description du tube SC5

La mesure du COT est fondée sur l'oxydation du carbone contenu dans chacun des prélèvements tamisés à 200 µm, broyés et traités à l'acide chlorhydrique. La quantité de CO₂ finale dégagée est estimée par chromatographie en phase gazeuse (séparation des gaz

sur colonnes). L'acquisition du signal se poursuit par la quantification des valeurs de COT par rapport à une gamme étalon, d'au moins trois échantillons, dont les valeurs sont déjà connues. Les mesures ont été effectuées au LGP Meudon. Les résultats sont présentés sur la figure 7.

Le tube SC5 peut aisément être corrélé avec le sondage TM1, avec toutefois un toit de la tourbe un peu plus bas qui semble résulter d'une compression du sédiment dans le tube lors du prélèvement (fig. 5). Des corrélations peuvent également être effectuées avec le sondage dit du « puisard ».

La base de la carotte est composée d'un sédiment tufacé calcaire (jusqu'à environ 90 % pondéral de carbonate : fig. 7, ud1). Il s'agit du dépôt à gyrogonites observé dans le sondage « puisard » (fig. 3, ud14). Il est surmonté par plus de 70 cm de tourbe plus ou moins fibreuse, avec fragments de bois, qui comporte encore un lit tufacé calcaire (fig. 7, ud2 à ud4). Elle correspond à la tourbe observée dans le « puisard » (fig. 3, ud13). Le taux de carbonate chute (avec toutefois un petit pic à plus de 20 % au droit du lit tufacé) et le COT atteint une valeur de l'ordre de 40 % pondéral à la base du dépôt tourbeux puis oscille aux environs de 20 %. La partie supérieure de l'unité est composée d'une tourbe remaniée (ud5) puis d'un dépôt détritique (ud6).

2.1.6 - Campagnes de fouille programmée 2014-2015

2.1.6.1 - Sondages en puits

La campagne de fouille 2014 (Locht *et al.*, 2014; pl. 1, cl. 1, & pl. 2, cls. 2 & 4) correspond à la fouille manuelle d'un agrandissement du sondage 5 du diagnostic archéologique 2013 ainsi qu'à cinq sondages en puits réalisés en périphérie de l'excavation (fig. 2F). Les sondages en puits situés à l'ouest et à l'est ont montré la continuité des dépôts alluviaux dans ces directions. Vers le sud, les niveaux alluviaux remontent et se réduisent en épaisseur, ce qui permet de supposer la proximité d'une rive.

2.1.6.2 - Levé de coupes détaillées

Des coupes réalisées lors de l'excavation (fig. 8) ont fait l'objet d'un levé précis (exemples fig. 9, pl. 1, cls. 3-7). Les descriptions détaillées sont disponibles dans les rapports de fouille (Locht *et al.*, 2014, Hérisson *et al.*, 2015). Les prélèvements et éléments fouillés sont replacés dans leur contexte stratigraphique et des corrélations peuvent être effectuées de proche en proche (figs. 10 & 11) pour établir la synthèse lithostratigraphique (partie 3.1).

2.1.6.3 - Mesure du taux de CaCO₃ et du CO_T

Le log 6 a bénéficié d'une mesure du taux de carbonate et du COT (pour la méthode, voir la partie 2.1.5.2). Les résultats sont présentés sur la figure 12 et commentés dans la présentation des unités de synthèse (partie 3).

Campagne de fouille programmée 2015, extension de la fouille 2014 et levés par photogrammétrie.

Unités	15	15	14	13	12	11
Echantillons	6	5	4	1	2	3

<i>Carychium minimum</i>				12		7
<i>Succinella oblonga</i>					1	
<i>Oxyloma elegans</i>	12			3	2	1
<i>Vertigo</i> sp.				1	1	
<i>Pupilla muscorum</i>	37	5	4	5		1
<i>Vallonia enniensis</i>				7		
<i>Vallonia pulchella</i>		1				
<i>Discus rotundatus</i>						1
Zonitidae				1		
Limaces				1		
<i>Trochulus hispidus</i>	40	2				
<i>Arianta arbustorum</i>			4			
<i>Arianta/Cepaea</i>					1	
Effectifs terrestres	89	8	8	31	4	10
Espèces terrestres	3	3	2	8	3	4

<i>Belgrandia marginata</i>			540	102	1	8
<i>Valvata cristata</i>	8		24	171	5	6
<i>Valvata piscinalis</i>	110	26	180	60	1	5
<i>Bithynia tentaculata</i>			236	441	15	6
<i>Galba truncatula</i>				5	1	
<i>Radix labiata</i>	66	16	8	2		
<i>Radix balthica</i>		8	40	9	1	
<i>Planorbis planorbis</i>	2	1	4	8	1	1
<i>Anisus septemgyratus</i>			8	14		1
<i>Anisus leucostoma</i>	5	5		20		
<i>Bathymorphus contortus</i>		1				
<i>Gyraulus laevis</i>		199	1128	90		1
<i>Armiger crista</i>		133	1488	153		
<i>Hippeutis complanatus</i>		9	112	58		
<i>Acroloxus lacustris</i>			12	54		
<i>Physa fontinalis</i>			8	1		
<i>Ancylus fluviatilis</i>						1
<i>Pisidium</i> sp.	78	179		74	4	3
<i>Pisidium nitidum</i>			28			
<i>Pisidium milium</i>		10	12	9		
Effectifs aquatiques	269	587	3828	1271	29	32

Effectifs totaux	358	595	3836	1302	33	42
-------------------------	------------	------------	-------------	-------------	-----------	-----------

Tab. 1 : Liste des malacofaunes provenant de l'observation « puisard » 2013.

Tab. 1: List of the malacofauna from 'puisard' (sump) pit 2013.

$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	$\pm ^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$\pm ^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	âge (ka)	+	-
0,6316	0,0130	1,3388	0,0091	103,0360	3,5250	3,4130

const. ^{230}Th : 0,009158

const. ^{234}U : 0,009158

Tab. 2 : Détail dosimétrique et résultat de datation U/Th sur oogones de Characées.

Unité de détail 14 de l'observation « puisard » de 2013, étude B. Ghaleb (Hérisson *et al.*, 2015).

Tab. 2: Dosimetric detail and U/Th dating result on Characea oogon. Detail unit 14 of the 2013 'sump' pit, study B. Ghaleb (Hérisson *et al.*, 2015).

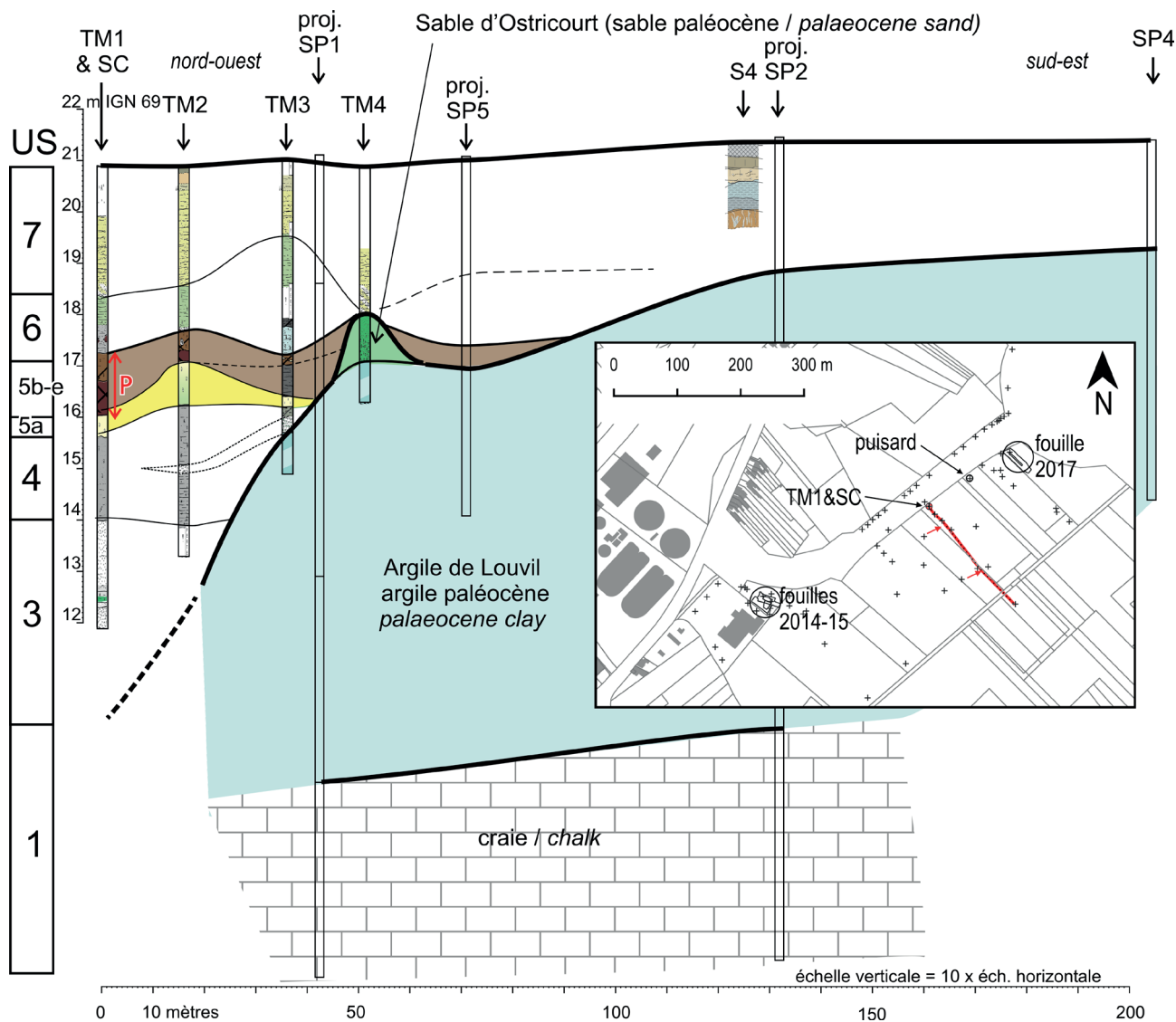


Fig. 6: Localisation des observations TM1 par rapport aux dépôts de tourbe et de tuf calcaire mis en évidence lors de la campagne 2013.

Tourbe en brun et tuf calcaire en jaune. P/ Étude palynologique, tube 5 du sondage carotté SC (Gauthier, 2022), USn/ Corrélation possible avec les unités stratigraphiques de synthèse des fouilles 2014-2015, flèches rouge/ Projection de sondages géotechniques.

Fig. 6: Location of TM1 observations in relation to peat and tufa deposits revealed during the 2013 campaign. Peat in brown and limestone in yellow. P/ Palynological study, tube 5 of SC core (Gauthier, this issue), USn/ Possible correlations with stratigraphic synthesis units from 2014-2015 excavations, red arrows/ Projection of geotechnical borehole projection.

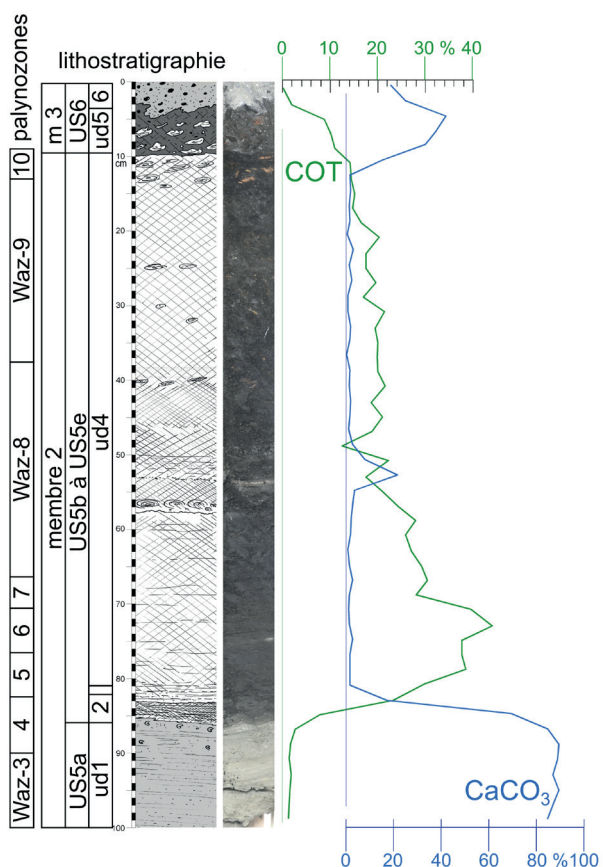


Fig. 7: Description du SC5, diagramme du taux de CaCO₃ et du COT.

ud1/ Limon gris avec entre 88-85,5 cm une grande concentration de coquilles, ud2/ tourbe limoneuse, ud3/ Lit de bois, ud4/ Tourbe plus ou moins fibreuse avec à 54 cm un lit de sable tufacé, ud5/ Tourbe remaniée, ud6/ Sable limoneux.

Fig. 7: Description of SC5, CaCO₃ and TOC rates diagram. ud1/ Grey silt with a high concentration of shells between 88-85.5 cm, ud2/ Silty peat, ud3/ Wood bed, ud4/ More or less fibrous peat with a tuffaceous sand bed at 54 cm, ud5/ Reworked peat, ud6/ Silty sand.

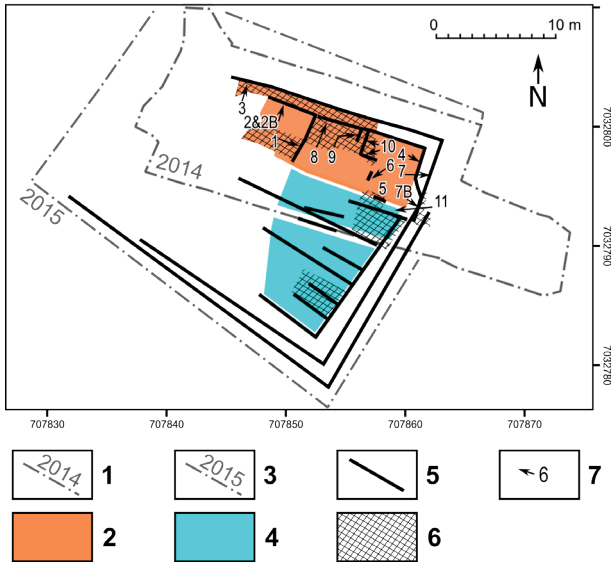


Fig. 8: Localisation des coupes et des zones fouillées lors des campagnes de fouille 2014 et 2015.

Coordonnées en mètres Lambert 93. 1/ Fouille campagne de 2014, emprise au sol, 2/ Fouille campagne 2014, emprise en fond de fouille, 3/ Fouille campagne de 2015, emprise au sol. 4/ Fouille campagne 2015, emprise en fond de fouille, 5/ Coupes détaillées, 6/ Zones fouillées manuellement, 7/ Identification (numéro des coupes ou des logs).

Fig. 8: Location of the cross-sections and excavated areas during the 2014 and 2015 excavation campaigns. Lambert 93 meters survey. 1/ Extension of campaign 2014 excavation. 2/ Campaign 2014, bottom of excavation. 3/ Extension of campaign 2015 excavation. 4/ Campaign 2015, bottom of excavation. 5/ Detailed cross-section. 6/ Manually digged areas, 7/ Identification (number of the cross-sections or logs).

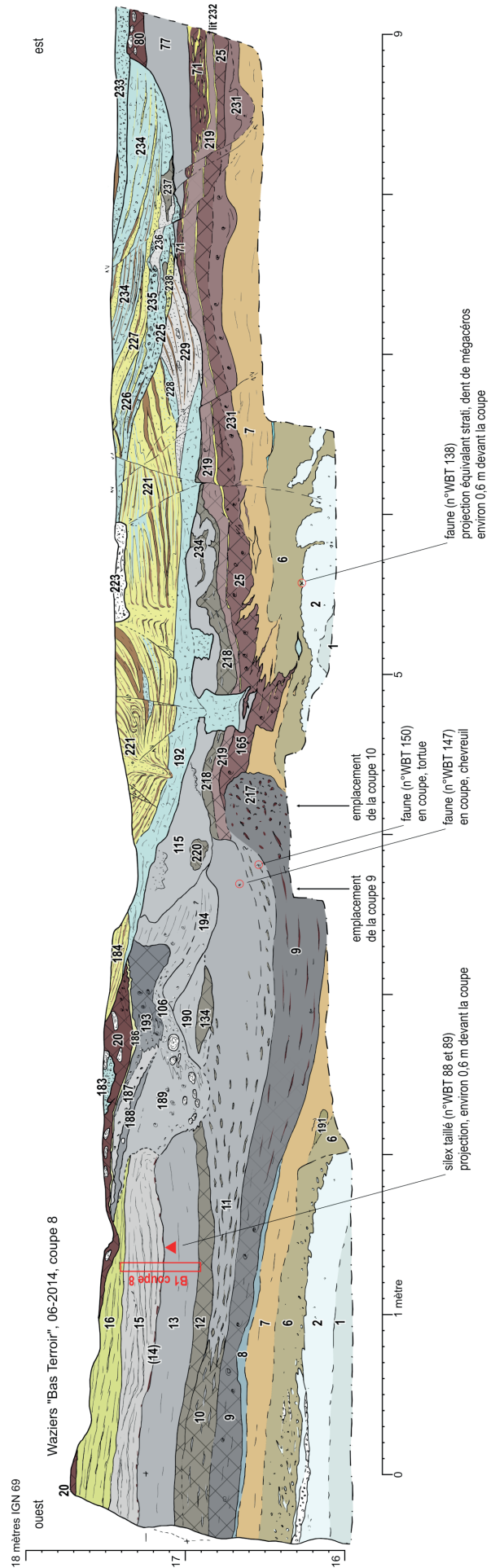


Fig. 9: Fouille 2014, levé détaillé de la coupe 8.

Levé détaillé des unités sédimentaires, projection des pièces d'industrie lithique et de faune sur l'unité correspondante, localisation des prélèvements.

Fig. 9: 2014 excavation, detailed survey of section 8. Detailed survey of the sedimentary units, projection of the pieces of lithic industry and fauna on corresponding unit, location of the samplings.

En 2015, l'extension de la fouille de 2014 vers le sud (figs. 2G & 6, pl. 2, cls. 1 & 3) a été accompagnée d'un levé des coupes par photogrammétrie. La corrélation avec les principales unités décrites en 2014 n'a pas posé de difficultés. D'une manière générale, les alluvions remontent fortement en altitude, comme escompté, et sont affectées par des phénomènes localisés d'érosion intenses, rapportables à des processus thermokarstiques (érosion fluvio-thermique générée par une fonte brutale de la glace dans un réseau de grandes fentes en coin associées à un pergélisol).

Une unité supplémentaire (US4e, pédogénèse au sommet de US4, cf. partie 3) a été mise en évidence par rapport à la campagne 2014.

2.1.6.4 - Micromorphologie

Quatre lames minces ont été effectuées. Les résultats sont présentés et commentés dans la présentation des unités de synthèse (partie 3). Les lames B1, B2 et B3 proviennent d'un bloc prélevé sur la coupe 5 de 2015

(pl 3, cls. 1 & 2) à l'extrémité nord de la zone où a été fouillé le niveau archéologique N3 aux environs de 17,8 m IGN69. Le bloc est projeté sur la figure 11. Les trois lames couvrent le membre 2 qui, dans cette position, est peu développé et composé des unités US5b et US5e (ce dernier contenant le matériel lithique de N3). La lame B4 correspond au bloc prélevé en 2014 dans la coupe 3 en parallèle aux prélèvements malacologiques du limon fluviatile US5c (cf. partie 3 et pl. 3, cls. 1 & 3).

L'étude micromorphologique a pour but de décrire les critères diagnostiques des processus sédimentaires et pédologiques, c'est-à-dire de caractériser les constituants minéraux et organiques, leur organisation et leur évolution. Les apports de la micromorphologie dans l'étude des séquences pédosédimentaires ont été reconnus depuis longtemps (Fedoroff & Goldberg, 1982 ; Fedoroff & Courty, 2002). Les traits pédosédimentaires observés à l'échelle microscopique permettent la reconnaissance des processus pédogénétiques, essentiellement dans une approche qualitative à semi-quantitative (Stoops

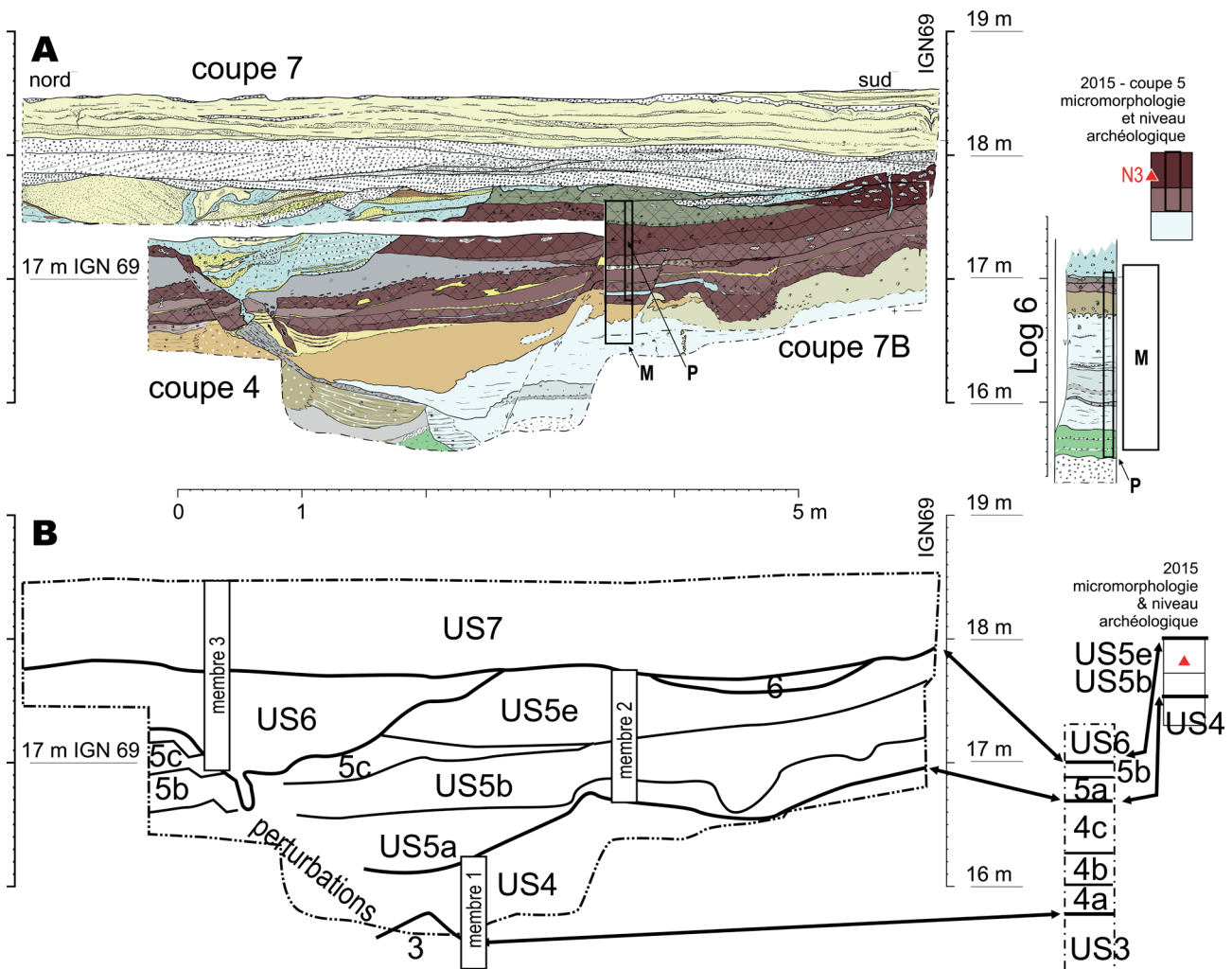


Fig. 11 : Fouille 2014, coupe générale de la paroi est et interprétation stratigraphique.

(A) Assemblage des coupes 4, 7, 7B et corrélation avec le log 6. Localisation sur la fig. 8 (unités lithologiques de détail des coupes, voir Lochet *et al.*, 2014), P/ Analyse palynologique (Gauthier, 2022), M/ Analyse malacologique (Limondin-Lozouet, 2022). (B) Unités stratigraphiques de synthèse, US3/ Alluvions grossières, US4/ Limon alluvial, US5/ Limons et tourbes, US6/ Érosion, remaniements, figures thermokarstiques, US7/ Gravier de craie puis limon fluviéo-éolien.

Fig. 11: 2014 excavation, east wall section assemblage, correlation with log 6 and synthetic stratigraphic units. (A) Assemblages of sections 4, 7, 7B and correlation with log 6. Location on fig. 8 (detail lithologic units of sections, see Lochet *et al.*, 2014), P/ Palynologic analysis (Gauthier, 2022), M/ Malacologic analysis (Limondin-Lozouet, 2022). (B) Synthesis stratigraphic units, US3/ Coarse alluvium, US4/ Alluvial silt, US5/ Silt and peat, US6/ Erosion, reworking, thermokarst figures, US7/ Chalk gravels then fluviéo-olian silt.

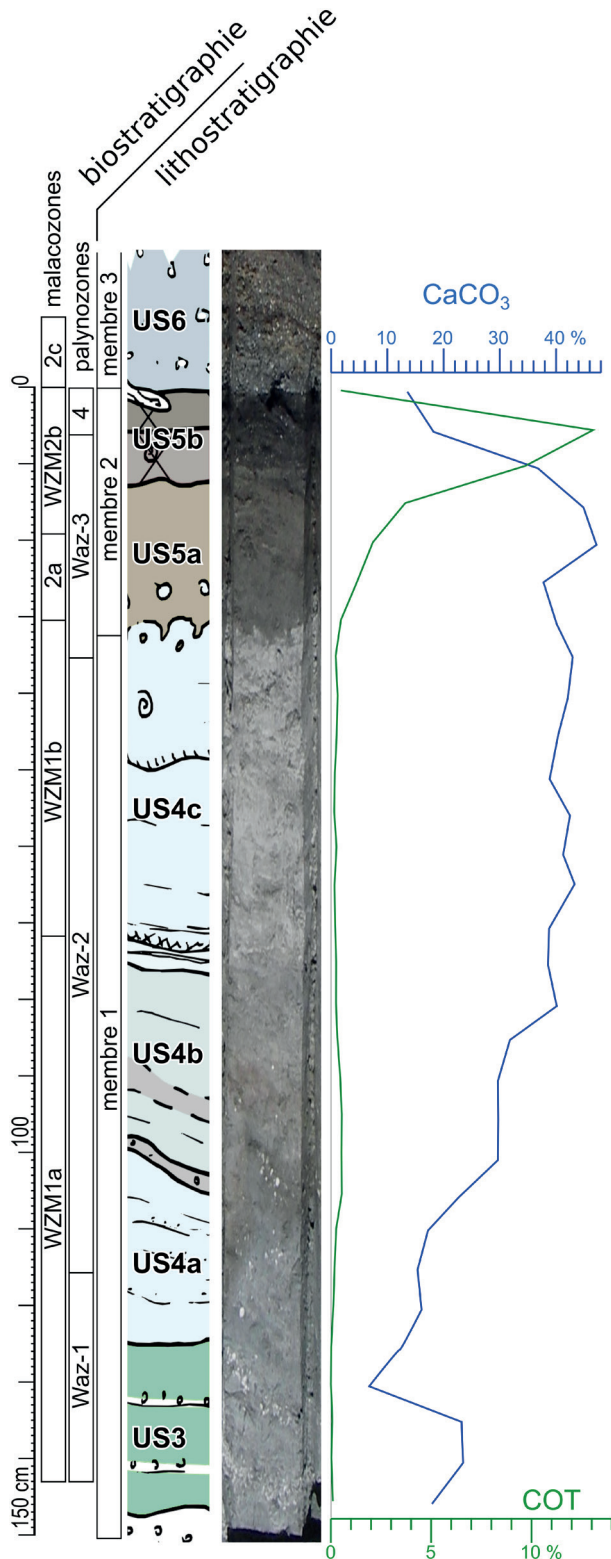


Fig. 12: Log 6, diagramme du taux de CaCO₃ et du COT.

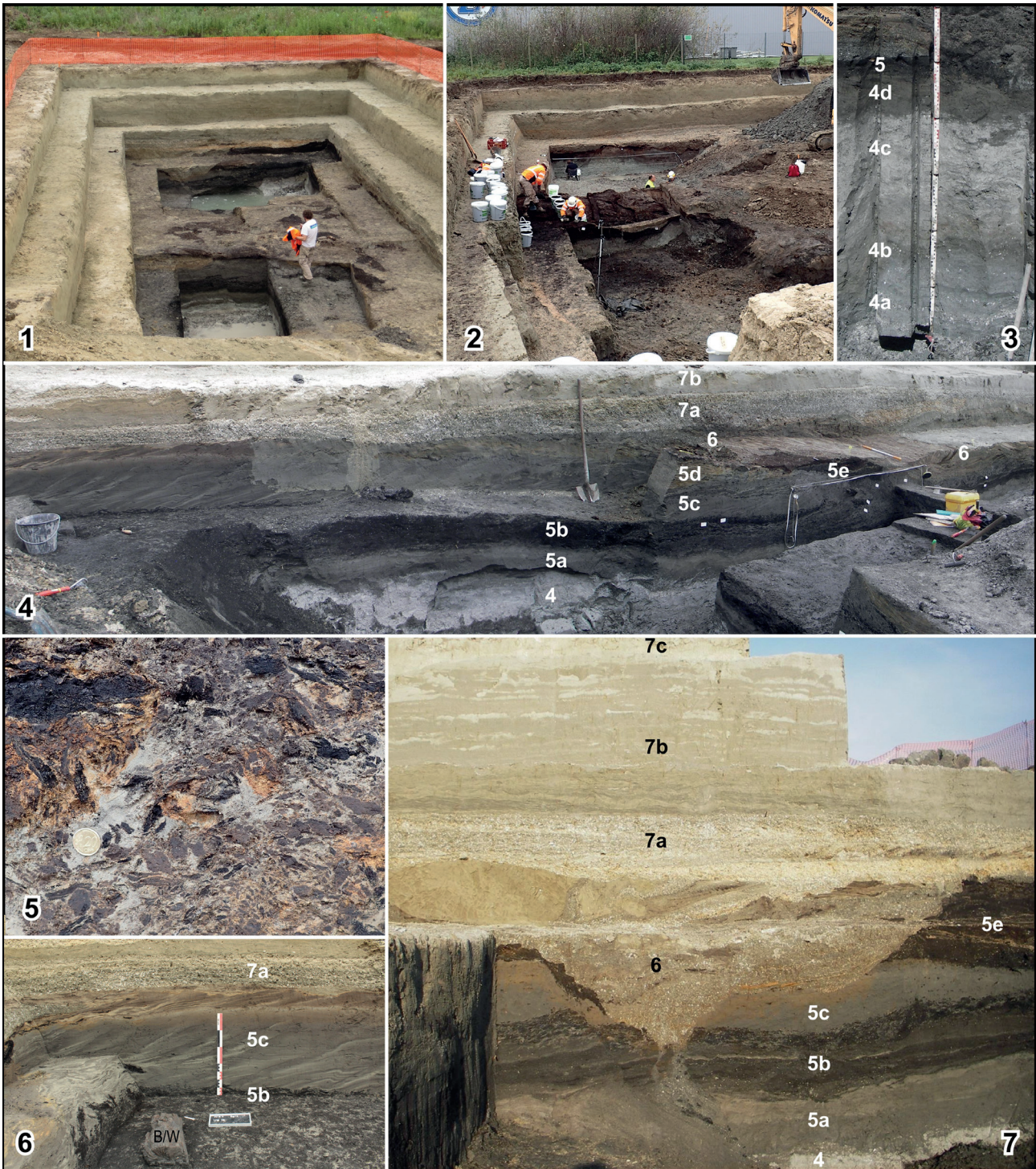
Indication des palynozones d'après Gauthier, 2022 et des malacozones d'après Limondin-Lozouet, 2022.

Fig. 12: Log 6, CaCO₃ and TOC rates diagram. Indication of palynozones after Gauthier, 2022, this issue, and malacozones after Limondin-Lozouet, 2022, this issue.

et al., 2010). Les traits sont hiérarchisés et interprétés en termes de phases sédimentaires et pédogénétiques (Fédoroff & Courty, 2002; Gerasimova, 2003) et permettent une approche des paléoenvironnements. Par contre, peu d'études micromorphologiques ont concerné les formations tourbeuses ou Histosols (Stoops *et al.*, 2010). Nos observations s'attachent pour les lames 1 à 3 à classer des tourbes en fonction de leur degré de décomposition, à déterminer l'importance de la fraction détritique, et à observer les éventuelles modifications post-dépositionnelles liées à l'âge de la formation. Les observations ont été menées sur un microscope Olympus BX51 en lumière polarisée analysée et non analysée suivant les principes de Bullock *et al.* (Bullock *et al.*, 1985) et de Stoops *et al.* (Stoops *et al.*, 2010).

Campagne de fouille programmée 2015 et sondages à la pelleuse équipée d'un « godet preneur »

La campagne de fouille de 2015 (Hérisson *et al.*, 2015) a aussi consisté, outre l'extension de la fouille 2014, en la cartographie géophysique au nord de la route (Hulin & Virmoux, 2022) et à la réalisation de sondages au nord de la route, dans le but de circonscrire l'extension des alluvions anciennes dans cette direction (fig 2G). Ces sondages ont été effectués à l'aide d'une machine équipée d'un « godet preneur », choix dicté par l'exiguïté de l'emprise, le long d'un chemin rural. Ils ont donné lieu à un transect interprétatif présenté sur la figure 13. Le *bedrock* est constitué du sable glauconieux paléogène « Sable d'Ostricourt » (âge thanétien, fig. 13, unité transect 1). Il est surmonté par endroit d'un limon homogène interprété comme un dépôt éolien (fig. 13, unité transect 4, équivalent US 2 ?). La nappe de tourbe et tuf calcaire rencontrée dans les investigations de 2013 et de 2014 (US5) a été observée seulement à l'extrémité sud dans le sondage SP1 (fig. 13, unité transect 2). Plus au nord-ouest, elle est remaniée sous la forme de lentilles de limon gris à débris organiques (fig. 13, unité transect 3, US6).



Pl. 1 : Observations 2014 et 2015 (1/2).

Avec indication des unités lithostratigraphiques de synthèse (US). 1/ Vue générale de la campagne 2014, en direction de l'est, 2/ Vue générale de la campagne de 2015, en direction du sud, 3/ Campagne de 2014, log 6 (voir figs. 7 & 11), 4/ Campagne de 2014, coupes nord : coupes 2, 3 et 8 (voir figs. 9 & 10), 5/ Campagne de 2015, détail de l'US6, 6/ Campagne de 2014, détail de l'extrémité ouest de la coupe 3 (voir fig. 10), 7/ Campagne de 2014, vue partielle des coupes 7 et 4 (voir fig. 11).

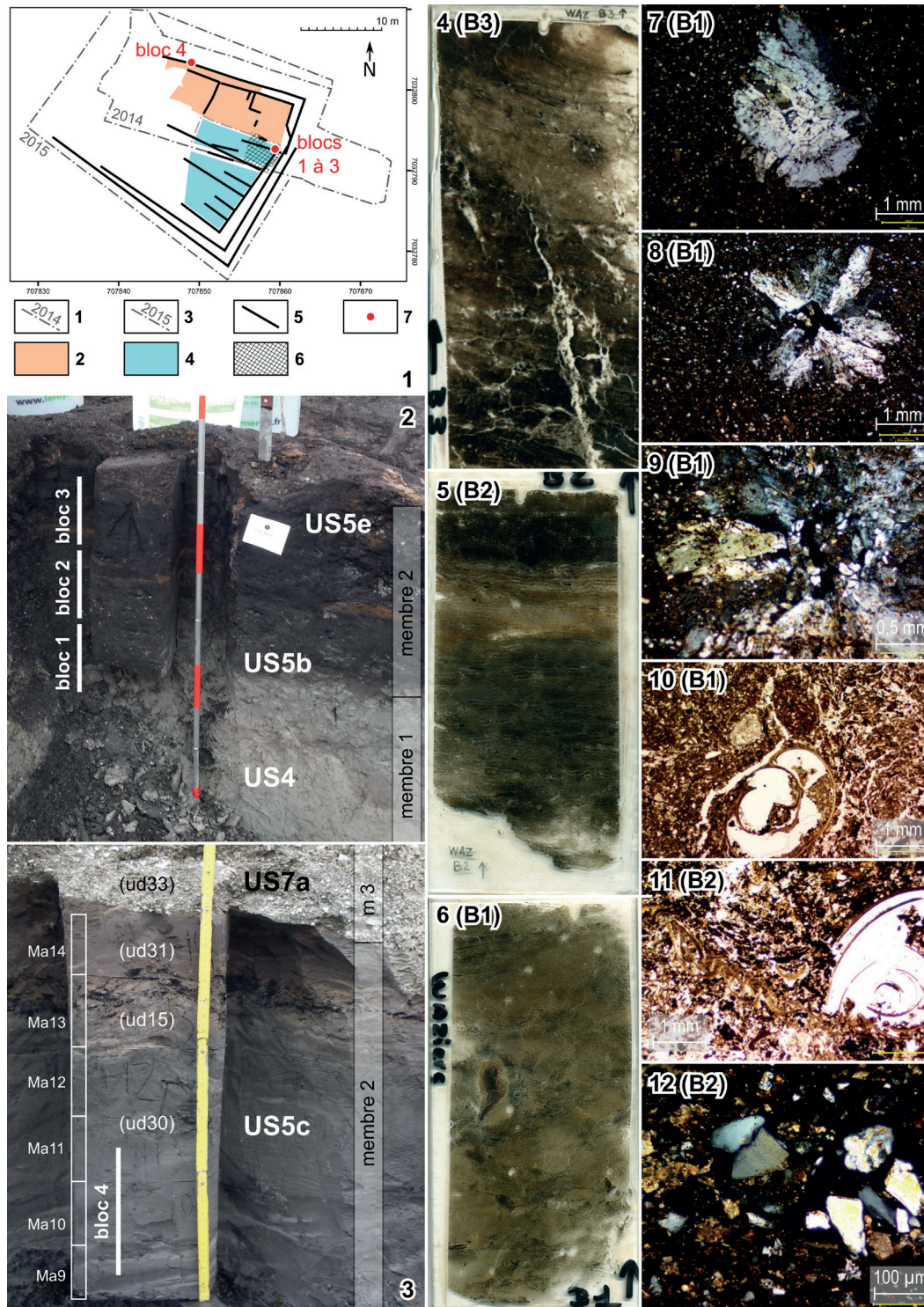
Pl. 1 : Observations 2014 and 2015 (2/2). With indication of the lithostratigraphic units of synthesis (US). 1/ General view of the 2014 campaign looking east, 2/ General view of the 2015 campaign looking south, 3/ Campaign 2014, log 6 (see fig. 7 & 11), 4/ Campaign 2014, northern sections: cross-sections 2, 3 and 8 (see figs. 9 & 10), 5/ Campaign 2015, detail of the US6 unit, 6/ 2014 campaign, detail of the western end of the cross-section 3 (see fig. 10), 7/ Campaign 2014, partial view of the cross-section 7 and 4 (see fig. 11).



Pl. 2: Observations 2014 et 2015 (2/2).

1/ Fouille du niveau archéologique N3, 2015, et vue panoramique (montage de plusieurs photos, localisation fig. 1G) des parois sud-est et sud-ouest, 2/ Fouille de 2014, détail de la paroi nord-est, 3/ Fouille de 2015, paroi sud-ouest, déformations thermokarstiques, 4/ Fouille de 2014, fouille manuelle de l'US5 et prélèvement de l'US4 sur le log 6 (voir figs. 7 & 11).

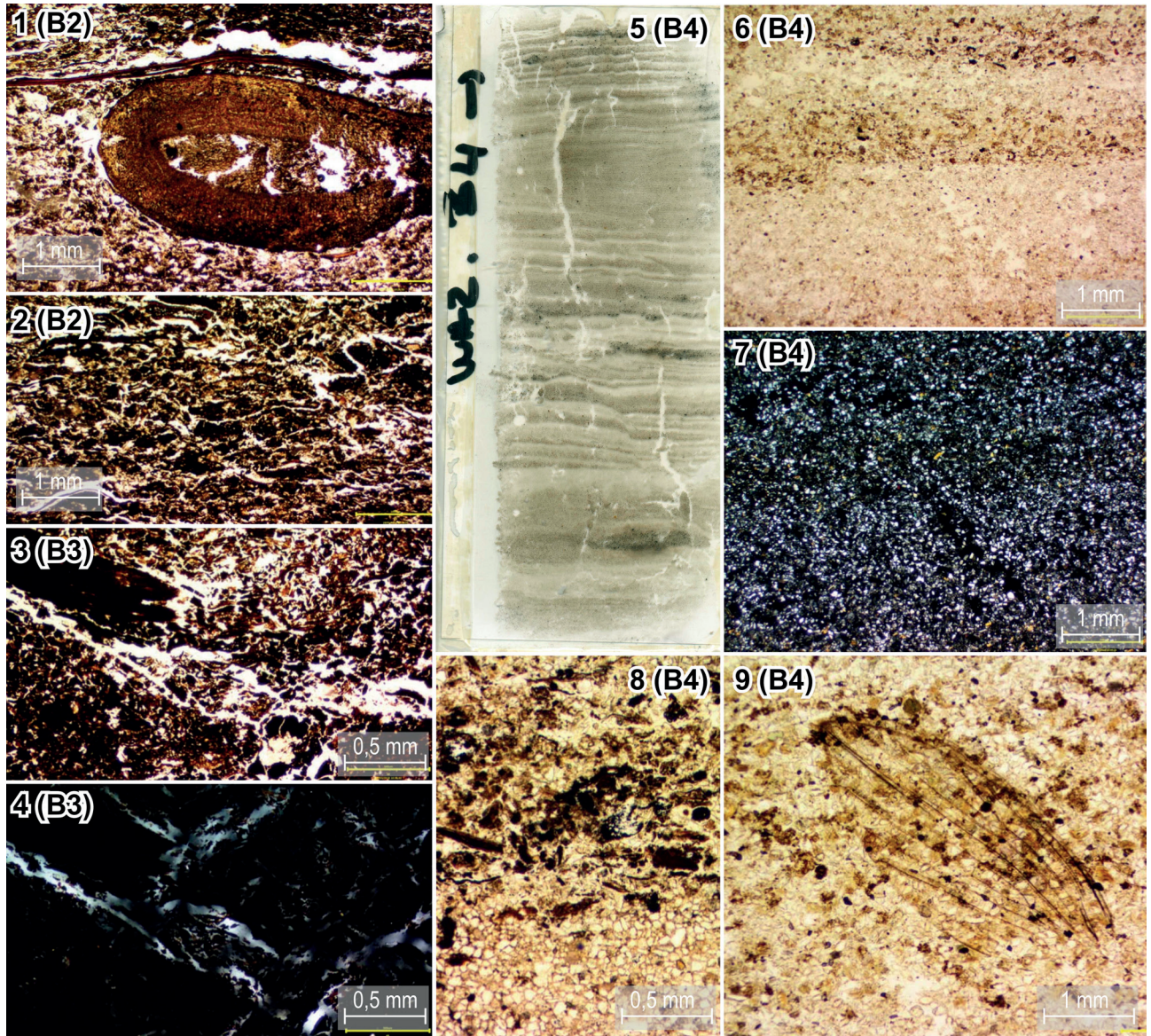
Pl 2: Observations 2014 and 2015 (2/2). 1/ Excavation of archaeological level N3, 2015, and panoramic view (montage of several photos, location fig. 1G) of the southeast and southwest walls, 2/ Detailed excavation of the northeast wall, 3/ Excavation of 2015, southwest wall affected by thermokarst deformations, 4/ Excavation of 2014, manual excavation of US5 and sampling of US4 on log 6 (see figs. 7 & 11).



Pl. 3 : Localisation des blocs ayant servi à la réalisation des lames minces, présentation des blocs 1 à 3, présentation des vues provenant du bloc 1 (US5b) et du bloc 2 (US5b et US5e).

1/ Localisation des blocs sur les fouilles 2014-2015 avec : (1) emprise au sol de la fouille 2014, (2) zone fouillée en 2014; (3) emprise au sol de la fouille 2015, (4) zone fouillée en 2015, (5) coupes, (6) fouille manuelle du niveau archéologique N3, (7), localisation des blocs. 2/ Prélèvement des blocs 1 à 3, 3/ Prélèvement du bloc 4 (en parallèle des échantillons malacologiques de la coupe 2014-3), 4/ Numérisation de la lame B3 avec une tourbe franche en moitié inférieure et un limon tourbeux en partie supérieure, 5/ Numérisation de la lame B2 montrant la structure litée de la tourbe, 6/ Numérisation de la lame B1 montrant la structure en agrégats, 7 à 9/ Lame B1 en LPA, cristaux de gypse néoformés, automorphes, à structure radiaire, 10/ Lame B1 en LNP, vue générale, débris de matière végétale et mollusque; à gauche agrégat; à droite partie plus fibreuse, 11/ Lame B2 en LNP, vue générale, coquilles de mollusques brisées, matière organique en petits fragments dégradés noirâtres, 12/ Lame 2 en LPA, grains de quartz (gris-blanc) et carbonate (teintes irisées).

Pl. 3: Location of the blocks used to make the thin slides, presentation of blocks 1 to 3, presentation of the views from block 1 (US5b) and block 2 (US5b and US5c).
 1/ Location of the blocks on the 2014-2015 excavations with : (1) area excavated in 2014, (2) area dug in 2014; (3) area excavated in 2015, (4) area dug in 2015, (5) cross-sections, (6) manual dig on archaeological level N3, (7) location of the blocks. 2/ Sampling of blocks 1 to 3, 3/ Sampling of block 4 (in addition to the malacological samples from section 2014-3), 4/ Scanning of slide B3, with frank peat in the lower half and peaty silt in the upper part, 5/ Scanning of slide B2 showing the bedded structure of the peat, 6/ Scanning of slide B1 showing the aggregate structure, 7 to 9/ Slide B1 in LPA, neoformed, automorphic gypsum crystals with radial structure, 10/ Slide B1 in LNP, general view, debris of plant matter and mollusk; on the left aggregate; on the right more fibrous part, 11/ Blade B2 in LNP, general view, broken mollusk shells, material in small blackish graded fragments, 12/ Blade 2 in LPA, grains of quarters (grey-white) and carbonate (iridescent tints).



Pl. 4 : Présentation des vues en lames minces provenant du bloc 2 (US5b et US5e), du bloc 3 (US5e) et du bloc 4 (US5c).

1/ Lame B2 en LPNA, racine avec structure cellulaire quasi-intacte, 2/ Lame B2 en LPNA, tourbe litée, 3/ Lame B3 en LPNA, matière organique « émiettée », 4/ Lame B3 en LPA, tourbe sans fraction minérale, 5/ Numérisation de la lame B4, limons lités, 6/ Lame B4 en LPNA, détail des lamines, 7/ Lame B4, même vue que 6 en LPA, 8/ Lame B4 en LPNA, lit de débris végétaux, 9/ Lame B4 en LPNA, aile d'insecte.

Pl. 4: Presentation of thin section views from block 2 (US5b and US5e), block 3 (US5e) and block 4 (US5c). 1/ PPL slide B2, root with almost intact cell structure, 2/ PPL slide B2, bedded peat, 3/ PPL slide B3, 'crumbled' organic matter, 4/ PPL slide B3, peat without mineral fraction, 5/ Scanning of slide B4, bedded silts, 6/ Slide B4 in PPL, detail of laminae, 7/ Slide B4, same view as 6 in XPL, 8/ Slide B4 in PPL, bed of plant debris, 9/ Slide B4 in PPL, insect wing.

3 - SYNTHÈSE LITHOSTRATIGRAPHIQUE 2011-2015

3.1 - DÉFINITION DE SEPT GRANDES UNITÉS SUR LES FOUILLES 2014-2015, DE TROIS MEMBRES STRATIGRAPHIQUES ET DE LA FORMATION DE WAZIERS

3.1.1 - Description des US1 à US7

À l'issue des campagnes de fouilles programmées de 2014 et 2015 (excavation et sondages en puits à la pelle mécanique aux alentours), la synthèse lithostratigraphique suivante a été proposée, avec de bas en haut (figs. 14-16) :

US1 – Substrat antéquatenaire

Le substrat antéquatenaire est constitué au droit de la fouille 2014-2015 de sable glauconieux paléocène (Thanétien). Il contient de la pyrite (FeS₂) qui lors de son altération libère du soufre dans le milieu aquatique. Ce soufre en se recombinaut avec le calcium dissous a permis la néoformation de petits cristaux de gypse (4-5 mm) dispersés dans les US5b et US5e (détermination par DRX des cristaux de gypse par C. Perrenoud, CNRS-UMR7041). Le substrat a été rencontré en sondages en puits à la pelle mécanique au sud de la zone excavée à

une altitude d'environ 15,5 m à près de 16,5 m d'altitude. D'autres sondages ont atteint une cote inférieure à 15 m IGN69 sans rencontrer cette unité (au nord-ouest et au nord-est de la zone excavée). D'une manière générale, la couverture quaternaire du versant masque d'amont en aval une craie blanche (Coniacien-Santonien) puis l'argile de Louvil (argile marine thanétienne) surmontée en stratigraphie des sables d'Ostricourt (sable marin glauconieux thanétien). La topographie antéquatenaire est beaucoup plus variée que ne permet de l'imaginer la topographie actuelle, avec notamment une butte d'argile identifiée sous la zone diagnostiquée en 2011 (fig. 2A) et clairement perçue en géophysique (Hulin & Vermoux, 2022). Cette topographie ancienne résulte peut-être d'un système faillé affectant le Paléogène et renforcé par l'érosion différentielle entre sable et argile. En effet, la juxtaposition rapide à une altitude proche des différentes lithologies sur l'axe sud-ouest/nord-est (craie plus en amont, «sable d'Ostricourt» au droit du diagnostic 2020 et de la fouille de 2014-2015, butte «d'argile de Louvil» sous le diagnostic 2011, puis de nouveau les sables au droit de la fouille 2017) laisse présager d'un système faillé affectant le Paléogène (Hérisson *et al.*, 2017). De même nous rencontrons sur l'axe perpendiculaire sud-est/nord-ouest et à la même altitude l'argile (au sud de la route, fig. 6) et le sable (au nord de la route,

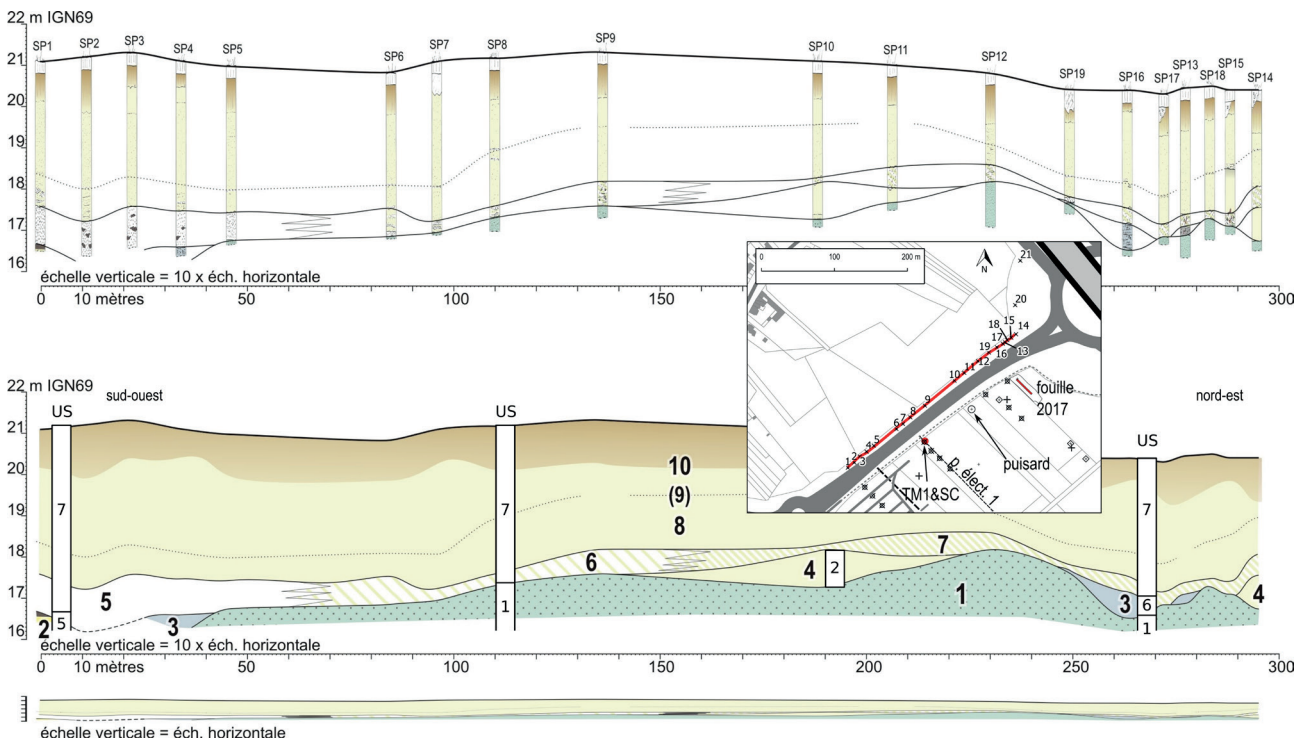


Fig. 13: Transect 2015 effectué sur le bord nord de la route.

En encart : localisation du transect, voir aussi fig. 2G. 1/ Sable marin éocène fossilifère, «sable d'Ostricourt», 2/ Tuf calcaire et tourbe, 3/ Limon sableux lité gris, avec malacofaune, matière organique, localement reste de faune, 4/ Limon verdâtre, probable dépôt éolien sans équivalent dans la campagne de 2014, 5/ Gravier de craie roulés, sans matrice, avec fortes venues d'eau, localement paquets tourbeux remaniés abondants, 6/ Sable lité avec graviers transition latérale de l'unité 5, localement remaniement de bois et de tourbe, 7/ Gravier de craie avec matrice argilo-sableuse, transition latérale de l'unité 5, localement présence de faune, 8 à 10/ Couverture argilo-sableuse, avec ud9 lit de graviers de craie et ud10, USn/ Corrélations possibles avec les unités stratigraphiques de synthèse des fouilles 2014-2015.

Fig. 13: 2015 Transect conducted along the north-side of the road. Inset: location of the transect, see also fig. 2G. 1/ Fossiliferous Eocene marine sand, "Ostricourt sand", 2/ Calcareous tuff and peat, 3/ Grey sandy silt, with malacofauna, organic matter, locally remains of fauna, 4/ Greenish silt, probable eolian deposit without equivalent in the 2014 campaign, 5/ Rolled chalk gravels, without matrix, with strong water inflow, locally abundant reworked peaty packets, 6/ Bedded sand with gravels lateral transition of unit 5, locally reworked wood and peat, 7/ Chalk gravels with sandy-clay matrix, lateral transition of unit 5, locally presence of fauna, 8 to 10/ Sandy-clay cover, with ud9 chalk gravel bed and ud10, USn/ Possible correlations with the stratigraphic synthesis units of the 2014-2015 excavations.

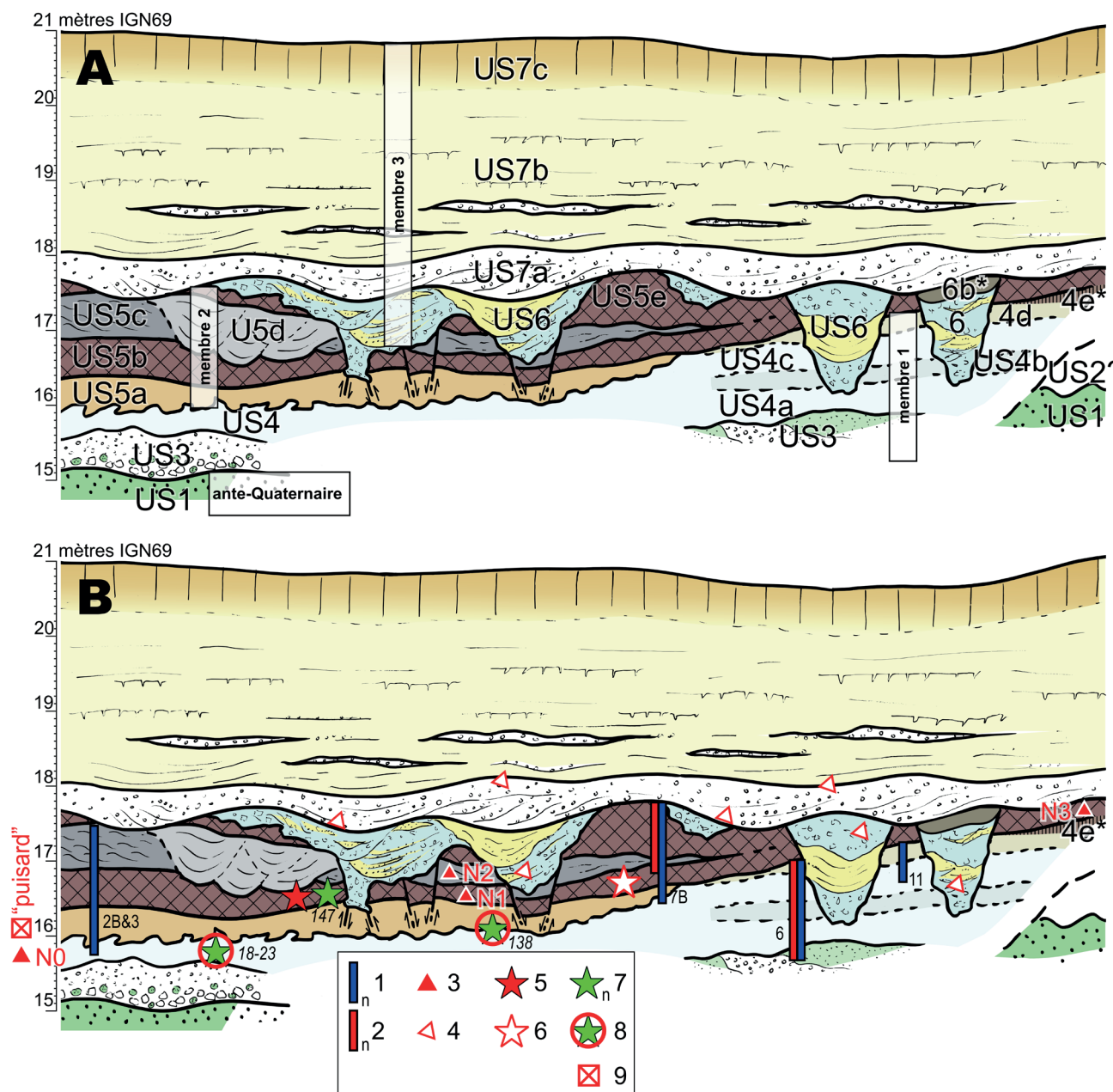


Fig. 14: Synthèse lithostratigraphique des campagnes de fouille 2014-2015 avec projection des niveaux archéologiques et des analyses.

(A) Stratigraphie. US1/ Substrat antequaternaire (sable éocène), US2/ Formation de versant, US3/ Dépôts grossiers fluviatiles (craie, sable glauconieux, grès glauconieux) US4/ Dépôts fluviatiles fins à dominante clastique (4a/ Limon gris inférieur, 4b/ Limon légèrement organique, 4c/ Limon gris supérieur, 4d/ Limon brunâtre, 4e/ Horizons pédologiques), US5/Dépôts fluviatiles fins à dominante organique (5a/ Limon brunâtre inférieur, 5b/ Tourbe laminée inférieure, riche en avifaune, 5c/ Limon gris laminé, remplissage d'un large chenal, 5d/ Limon gris, remplissage de chenaux étroits, 5e/ Limon brunâtre supérieur et tourbe, riche en bois et en os de castors), US6/ Dépôts fluviatiles remaniés, graviers d'argile et figures thermokarstiques, US7/ Dépôts de couverture (7a/ Gravier de craie, 7b/ Sable et limon lité, 7c/Loess et pédogenèse), N0 à N3/ Niveaux archéologiques, */Unité exclusivement présente sur l'excavation 2015. (B) Position des industries et des analyses. 1/ Analyse malacologique, 2/ Analyse palynologique, 3/ industrie lithique, 4/ industrie lithique remaniée, 5/ Faune avec traces de découpe ou de cremation, 6/ Autre mégafaune remarquable (Rhinocéros), 7/ Analyse isotopique paléotempératures (sur dents: 18-23 Cheval, 138 Mégalocéros, 147 Chevreuil), 8/ Datations U-Th et ESR sur dent, 9/ U-Th sur oogones de Characées.

Fig. 14: Lithostratigraphic synthesis of 2014-2015 excavation campaigns with projection of the archaeological levels and analyses. (A) Stratigraphy. 1/ Antequaternary substratum (Eocene sand), 2/ Slope formation, 3/ Fluvial coarse deposits (chalk, glauconitic sand and glauconitic sandstones), 4/ Thin fluvial mainly clastic deposits (4a/ lower grey silt, 4b/ slightly organic silt, 4c/ Upper grey silt, 4d/ Upper brownish loam, 4e/ Soil horizons), 5/ Thin fluvial mainly organic deposits (5a/ Lower brownish silt, 5b/ Lower laminated peat, with rich avifauna, 5c/ Laminated grey silt, large channel infilling, 5d/ Grey silt, narrow channels infilling, 5e/ Upper brownish silt and peat; rich in wood pieces and beavers bones), 6/ Reworked fluvial deposit, clayey gravels and thermokarstic figures, 7/ Covering deposits (7a/ Chalk gavel sheet, 7b/ Bedded sand and silt, 7c/ Loess and weathering), N0 to N3/ Archaeologic levels, ()/ Unit exclusively present on the 2015 excavation. (B) Position of industries and analyses. 1/ Malacological analysis, 2/ Palynological analysis, 3/ Lithic industry, 4/ Reworked lithic industry, 5/ Fauna with traces of cutting or cremation, 6/ Other remarkable megafauna (Rhinoceros), 7/ Palaeotemperature isotope analysis (on teeth: 18-23 Horse, 138 Megaloceros, 147 Deer), 8/ U-Th and ESR dating on teeth, 9/ U-Th on oogones of Characae.*

fig. 13). L'axe hydrographique pléistocène exploite donc probablement une faille révélée par la juxtaposition des deux assises.

Le substrat de craie, d'argile ou de sable alimente les alluvions grossières rencontrées dans les dépôts quaternaires (graviers de craie, agrégats d'argile et sables alluviaux).

US2 – Dépôts antérieurs à l'unité 3

Nous regroupons dans l'unité 2 les formations de graviers de craie ruisselés (à plus de 16 m d'altitude) et de sable rencontrées ponctuellement en sondages en puits au sud de la zone fouillée. Ces dépôts sont interprétés comme des formations de versant antérieures à l'unité 3.

US3 – Dépôts fluviaux grossiers inférieurs

L'unité 3 correspond aux dépôts alluviaux de craie, sable glauconieux et grès glauconieux, situés aux environs de 15 à 16 mètres d'altitude (environ 5 à 6 mètres de profondeur). Il s'agit de la nappe grossière reposant directement sur le *bedrock* sableux. La présence de gros blocs de craie et grès suggère un apport proche résultant d'une érosion depuis le versant crayeux contigu. Les dépôts graveleux sont constitués de graviers de craie arrondis et sont fréquemment associés à des passages de sable glauconieux. L'unité est caractéristique d'alluvions déposées en contexte périglaciaire.

US4 – Dépôts fluviaux fins calcaires à dominante minérale

L'unité 4 regroupe les dépôts fluviaux fins non ou faiblement organiques, avec malacofaunes, que nous observons directement sur l'unité 3 (pl. 1, cls. 3 & 4, pl. 2, cl. 4). Elle a livré en 2013 dans le sondage dit du puisard un éclat Levallois notifié comme le niveau archéologique N0 (Hérisson *et al.* 2022). L'unité 4 peut elle-même être subdivisée dans la partie sud-est de l'excavation (US4a à US4d). Les trois premières sous-unités (US4a à US4c) ont en particulier été décrites sur le log 6 (figs. 12, pl. 1, cl. 3 et pl. 2, cl. 4). Le taux de carbonates est important et augmente vers le haut de l'unité jusqu'à environ 40 % pondéral (fig. 12). Les sous-unités peuvent être décrites comme suit :

US4a – Limon gris inférieur

Dépôts à dominante limoneuse, il s'agit d'une unité observée en profondeur sur la majeure partie de l'excavation et composée de limon discrètement lité avec parfois quelques lits de sable, de couleur claire et des inclusions de graviers de craie ;

US4b – Limons intermédiaires légèrement organiques ;

US4c – Limon gris supérieur, identique à 4a, mais au-dessus de 4b ;

US4d – Limon supérieur légèrement brunâtre.

Dans la partie sud de l'excavation et directement sous les formations tourbeuses de l'unité 5, la partie supérieure de l'unité 4 est composée d'un limon clair légèrement brunâtre. Les restes d'une mâchoire de cheval ont été recueillis dans le niveau US4c-d non différencié (fig. 10, n° 18 à 23).

US4e – Limon supérieur légèrement brunâtre

L'unité US4e n'a été observée que sur l'emprise de la fouille de 2015. Il s'agit d'un horizon argileux calcaire avec conduits racinaires oxydés (pédogenèse probable) et pouvant prendre une coloration brun foncé ou lie de vin (ud7a de 2015). L'unité est interprétée comme une pédogenèse au sommet de l'US4 développée à distance du chenal.

Limite US4 et US5

La limite entre les US4 et US5 est rapide mais irrégulière en altitude. Elle comporte des involutions. Une dent de *Mégaceros* a été trouvée dans cette position (fig. 10, no 138).

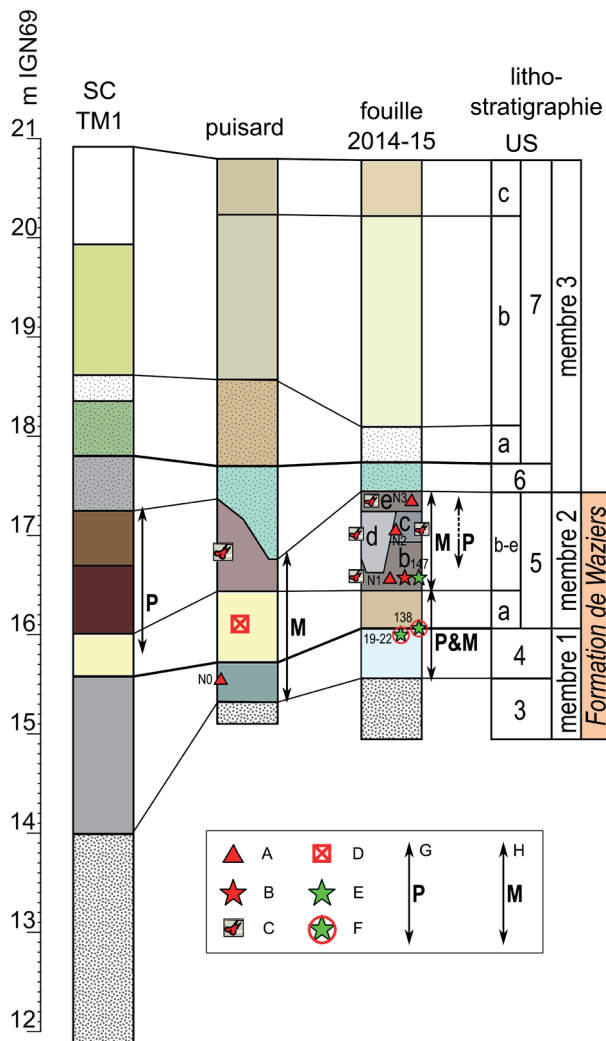


Fig. 15: Proposition de corrélation entre la synthèse stratigraphique définie sur la fouille 2014-2015, la carotte SC et l'observation du « puisard ».

US/ Unités stratigraphiques de synthèse, m IGN69/Altitude dans le référentiel NGF-IGN69, A/ Industrie lithique, B/ Faune avec trace de découpe ou de crémation, C/ Autre faune osseuse, D/ Datation U-Th, E/ Analyse isotopique, F/ Datation ESR sur dent, G/ Analyse palynologique H/ Analyse malacologique.

Fig. 15: Proposed correlation between the stratigraphic synthesis defined on the 2014-2015 excavation, the SC core and the "sump" observation. US/ Synthetic stratigraphic units, m IGN69/Altitude in NGF-IGN69 datum, A/ Lithic industry, B/ Fauna with traces of cutting or cremation, C/ Other bone fauna, D/ U-Th dating, E/ Isotopic analysis, F/ Isotopic analysis, G/ Palynological analysis, H/ Malacological analysis.

US5 – Dépôts fluviaux fins à dominante organique

Les observations permettent de mettre en évidence un corps sédimentaire fluvial composé majoritairement de dépôts tourbeux et limoneux. De nombreux restes de faunes mammaliennes et d'avifaune y a été recueillis (Auguste *et al.*, 2022 ; Lebreton *et al.*, sous presse), ainsi que quelques pièces d'industrie lithique ou de faune avec stigmates anthropiques (Hérisson, soumis). L'unité 5 peut être subdivisée de la manière suivante :

US5a – Limons bruns inférieurs

La base de l'unité 5 est un limon brun à composante organique. Le contact avec l'unité 4 sous-jacente est souvent irrégulier (figures de charge et bioturbations ?). La mesure du COT de l'US5a dans le log 6 (fig. 12) montre une composante organique très faible à la base de l'unité (quelques %) qui augmente fortement vers le haut jusqu'à atteindre plus de 30 % pondéral à la limite avec l'US5b. Le taux de carbonate est quant à lui important (plus de 40 % pondéral).

US5b – Tourbe inférieure (dite « à canards »)

Un dépôt tourbeux lité se développe sur l'US5a. Il est riche en ossements divers et particulièrement en avifaune. L'unité 5b présente une structure feuilletée avec intrusion de limon gris entre les agrégats tourbeux (dessiccation et déstructuration ?). Latéralement l'unité est déstructurée et passe à un limon gris avec inclusions d'agrégats tourbeux (érosion lors de crues d'un banc de tourbe desséchée ?). Vers l'est et le sud, l'unité comporte également quelques lits de limon tufacé. Le COT atteint plus de 40 % pondéral (fig. 12).

L'unité a bénéficié d'une analyse micromorphologique (lames minces B1 et B2, pl. 3, cls. 5, 6, 7-12, pl. 4, cls 1 & 2). La matière organique est abondante. Dans la lame B1, la majorité des débris végétaux sont très dégradés, noircis. Seuls quelques éléments fibreux sont encore visibles. Une fraction limoneuse est présente (essentiellement quartzeuse, avec quelques grains de glauconie). Des sables fins remplissent des vides biologiques. Quelques sphérolithes de lombrics (granules calcitiques de vers de terre) ont été observés. Les dépôts sont fissurés sur place, formant de gros agrégats pluricentimétriques. À noter la présence d'une néoformation de cristaux de gypse (cristaux automorphes, lenticulaires ou géométriques, organisation radiaire, teintes de biréfringence faible gris-jaunâtre, pl. 3, cls. 7-9) résultant de l'oxydation de la pyrite.

L'unité US5b contient le niveau d'industrie lithique N1. Il s'agit d'une pointe pseudo-Levallois notifiée comme le niveau archéologique (N1) (Hérisson *et al.*, 2022 ce numéro ; Sergent *et al.*, 2013).

US5c – Limon gris, comblement de chenal

Une formation limoneuse s'insère au sein de l'unité 5. Elle est inégalement présente et se termine en biseau vers le sud pour s'épaissir en limite nord de l'excavation. Il

s'agit vraisemblablement d'un dépôt de fond de chenal. La base est constituée d'un limon gris finement lité. Vers l'ouest, elle présente des figures de sédimentation fluviales (rides de courant, pl. 1, cl. 6).

L'unité a bénéficié d'une étude micromorphologique (lame B4, pl. 3, cls. 1 & 3, pl. 4, cls. 5-9). Le limon est très finement laminé (épaisseur de certaines lamines inférieures au millimètre). Le sédiment est quartzeux, avec des grains de glauconie et des paillettes de micas. Quelques fragments carbonatés sont visibles. Certaines lamines contiennent de la matière organique à l'état de petits fragments noirs aux formes irrégulières.

L'unité contient de la faune et le niveau archéologique N2, constitué de quatre artefacts en silex (Hérisson, soumis)

US5d – Limon gris en petits chenaux

De petits chenaux érodent les formations antérieures. Le comblement limoneux gris est très proche de la base de l'US5c et il est possible de faire localement la confusion entre les deux unités. Toutefois, la reprise de fragments tourbeux souligne la structure en petits chenaux. L'unité contient de la faune et du bois qui peuvent éventuellement être des reprises de dépôts antérieurs.

US5e – Limons bruns et tourbe supérieure (dite « à castors »)

L'unité 5 se conclut par un dépôt tourbeux US5e (pl. 4, cls. 3 & 4) qui scelle les unités US5c et US5d. Vers le sud, l'unité 5e est dilatée et repose directement sur la tourbe 5b (fig. 11 & pl. 3, cl. 2). L'US5e est riche en bois (branches et fragments de branches de 2 à 3 cm de diamètre, plus rarement 5-8 cm) et en faune de mammifères, en particulier en ossements de castor, et localement, en fragments de branches appointées ayant conservé la trace de dents de castor. Vers le sud, la partie supérieure de l'US5e est particulièrement riche en gros bois (coupes 7 et 7b, fig. 11) et constitue la partie sommitale de l'unité US5. La fouille de 2015 a confirmé l'amincissement de l'unité 5 vers le sud (remontée vers une berge probable). Elle comporte le niveau archéologique N3 qui n'était pas présent sur l'excavation de 2014. Le niveau N3 est composé d'une vingtaine d'artefacts et de restes fauniques (Hérisson *et al.*, 2022, ce volume).

US6 – Remaniements fluviaux, « graviers d'argile » et structures d'érosion thermokarstiques

Une grande partie de l'unité 5 est érodée, puis recouverte par l'unité 6. Cette dernière constitue une formation litée de sable, de graviers de craie, de reprise de sédiment tourbeux mais aussi de graviers d'argile (pl. 1, cl. 5). Les graviers d'argile proviennent de la déstabilisation de dépôts argileux paléocènes (argile de Louvil) proches sur versant et caractérisent l'US 6. L'unité comporte en position secondaire des fragments de bois, de la faune, des éléments d'industries lithiques, remaniés depuis l'US5. L'unité 6 comble des figures de chenaux, associées à des fractures (ravines localisées ?) qui peuvent se prolonger profondément (exemples sur les

figures 9, entre $x = 4,5$ m et $8,5$ m sur l'axe des abscisses, et 11). Des écoulements ont pu exploiter ces structures (exemples figs. 9 & 11, pl. 1, cl. 7, pl. 2, cl. 3) et créer des chenaux et des ravines qui associent des parois rectilignes et des affouillements vers leur base.

Ces structures d'érosions en ravines aux parois irrégulières sont interprétées comme résultant de la fonte d'un pergélisol (thermokarst). Les écoulements sont alimentés par la fonte de la glace de ségrégation présente au sommet du pergélisol mais surtout par celle d'un réseau de grandes fentes à coins de glace typique des environnements loessiques du Nord de la France pendant le dernier glaciaire (Antoine *et al.*, 2014, 2016).

Certaines limites d'unité, très rectilignes, les injections de sédiments et les déformations impliquent un dépôt en contexte périglaciaire. Les figures thermokarstiques sont abondantes et bien marquées sur l'excavation de 2015; une unité de limon argileux brun à gris, à lits peu nets, décarbonatée et à traces de petites pédotubules constitue la fin des comblements des ravines sans équivalent sur l'excavation de 2014. Cette unité est indiquée sur la figure 14 comme «US 6b».

US7 – Dépôts de recouvrement

L'ensemble de la zone est recouverte d'environ 3 m de dépôts composés de bas en haut des éléments suivants (pl. 1, cl. 7):

US7a – Nappe graveleuse

Une nappe de graviers de craie d'environ 0,5 à 1 m d'épaisseur tronque entre 17,5 et 18 m d'altitude l'ensemble des niveaux sous-jacents (US5 et US6). Elle résulte d'écoulements dynamiques et extensifs en petits chenaux mobiles sur une vaste zone. Elle comporte des fragments de bois et de l'industrie lithique remaniés depuis les unités sous-jacentes.

US7b – Nappe à dominante sableuse

La nappe graveleuse est recouverte d'une épaisse formation de sables et de limons lités interprétés comme des dépôts fluviéo-éoliens. Le litage révèle des structures fluviatiles où peuvent encore apparaître des dépôts de graviers de craie. Ceux-ci sont toutefois moins épais et tendent à disparaître vers le haut. Les lits sont parfois déformés par des fentes de dessiccation et des figures de cryoturbation.

US7c – Nappe à dominante limoneuse (loessique)

La partie supérieure est composée d'un limon loessique calcaire, peu épais.

3.1.2 - Regroupement des US3 à US7 en trois membres

Les US2 à 7 peuvent être de manière évidente regroupées en trois membres distincts avec de bas en haut (figs. 14-16):

- le membre 1, composé des US3 et US4, est un dépôt à dominante clastique;

- le membre 2, composé de l'US5, est un dépôt à dominante organique, tourbeuse;

- le membre 3, composé des US6 et US7, est à dépôt à dominante clastique avec une limite érosive nette.

3.2 - CORRÉLATIONS STRATIGRAPHIQUES ET CHRONOLOGIE RELATIVE À HAUTE RÉOLUTION

3.2.1 - Proposition d'une corrélation fondée sur la lithostratigraphie...

Les fouilles 2014-2015 sont distantes d'environ 300 m de l'observation du puisard et de 370 m du sondage carotté SC (fig. 2). Nous pouvons proposer une corrélation stratigraphique comme illustrée sur les figures 15 & 16. Les dépôts graveleux profonds du puisard et de SC (à partir et en deçà de 15 à 14 m d'altitude) suivis par des limons fluviatiles gris (jusqu'à environ 15,5 m) correspondent au membre 1 (US3 et US4). Les limons avec tourbes remaniées et les dépôts grossiers (altitude basale à environ 17 à 18 m d'altitude) suivis par les formations limono-sableuses litées puis limoneuses sont corrélés au membre 3 (US6, US7a et US7a-7b). Entre ces deux membres, nous pouvons corréler en un grand ensemble (membre 2) les formations limoneuses clastiques, les tufs calcaires et les tourbes, soit les US5a

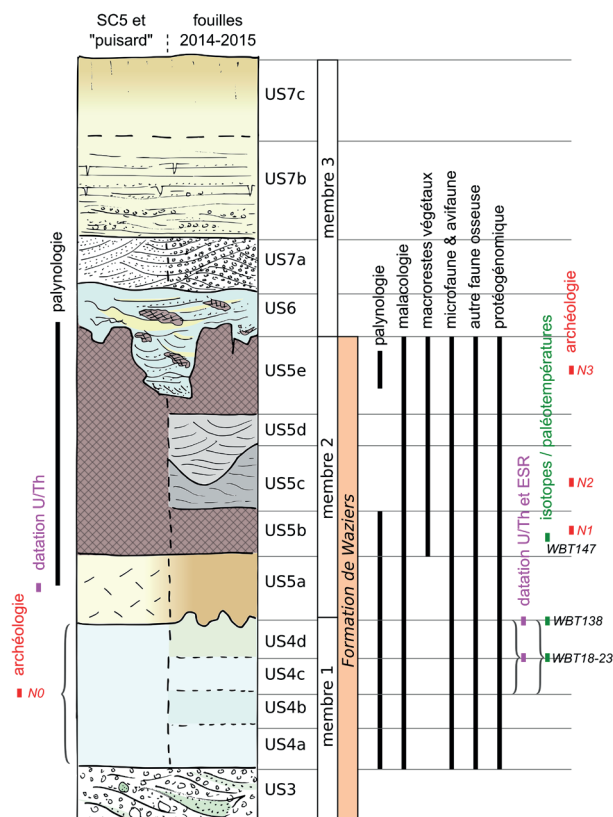


Fig. 16: Log schématique synthétique des observations et des études 2013-2015.

Échelle non respectée.

Fig. 16: General schematic log of observations and studies 2013-2015. Scale not respected.

à 5e. Les corrélations plus fines, à l'intérieur de ce grand ensemble US5 sont délicates à établir avec certitude.

3.2.2 - ... et confirmée et affinée par les biozones

Les biozones (partie 2.1.4.3, Limondin-Lozouet, 2022) confirment ces corrélations et les précisent (fig. 17). La malacozone (WzM2a) et la palynozone (Waz-3) sont reconnues au sommet du dépôt calcaire à gyrogonites (étude palynologique, Gauthier, 2022) dans le tube SC5 (fig. 7, ud1) aussi bien que dans celui du « puisard » (ud14, fig. 3, malacologie, partie 2.1.4.3) ou que dans l'ud253 du log 6 de 2014 (fig. 12, étude palynologique, Gauthier, 2022, et étude malacologique, Limondin-Lozouet, 2022). La corrélation entre le dépôt calcaire à gyrogonites et le limon brun calcaire à la base du membre 2 sur la fouille 2014-2015 est donc établie (malgré la variation lithologique du dépôt) sous l'unité US5a. De même, la limite entre les palynozones Waz-8 et Waz-9 observée à 37 cm sous le toit de la tourbe non remaniée de SC5 se retrouve dans la coupe 7b à quelques centimètres sous la limite des tourbes US5b et US5e.

L'utilisation de la valeur chronologique des palynozones permet d'aller encore un peu plus loin avec la mise en évidence de la diachronie de la limite entre les US5a et US5b. La tourbe US5b commence à se déposer dès la dernière partie de la chronozone Waz-3 tandis que le limon calcaire à gyrogonites de SC5 continue à se former jusque dans la première partie de la chronozone Waz-4 (fig. 17). La turfigenèse débute donc au droit de la zone de fouille 2014-2015 tandis que la zone en eau libre perdure au droit du sondage carotté SC (probablement plus dans l'axe de l'écoulement principal, cf. Hulin & Vermoux, 2022). C'est un cas de figure fréquemment rencontré pour les dépôts de zones humides holocènes (par exemple: Antoine, 1997; Ducrocq, 2001; Praud *et al.*, 2015) où la précision des datations peut remettre en cause l'isochronie abusivement attribuée aux limites lithologiques. Dans le cas de Waziers, le développement centripète de la tourbière, au moins pour la partie inférieure du membre 2, plaide pour un ennoisement des zones les plus basses. La diachronie de la limite US5a-US5b révélée par les chronozones est un argument pour une mise en place continue et à haute résolution temporelle de la base du membre 2. En l'état, il n'est pas possible d'aller plus loin dans les corrélations entre les dépôts tourbeux sus-jacents (ud7 et ud8 de TM, où ont été définies les palynozones Waz-4 à Waz-10, et ud13 du puisard) et les US5b à US5e définies sur les fouilles 2014-2015. Par contre, nous pouvons proposer une corrélation entre les dépôts limoneux sous-jacents (ud10 et 11 de TM1, ud15 du puisard) et l'US4, relation appuyée par la similarité des dépôts (limon gris à dominante clastique) et le cortège malacologique (Limondin-Lozouet, 2022).

3.3 - DÉFINITION DE LA FORMATION DE WAZIERS ET PREMIÈRE ATTRIBUTION CHRONOLOGIQUE

Nous définissons la « Formation de Waziers » comme le regroupement des membres 1 et 2 (fig. 18). Le membre 1 est une alluvion à dominante clastique (graviers de craie, sable, limon) et le membre 2 une alluvion à dominante organique (tourbe) ou calcaire (oogones de Characées) calcaire et d'alluvions limoneuse plus clastiques.

Les caractéristiques lithologiques (passage d'un dépôt clastique pour le membre 1 à un dépôt limono-tourbeux pour le membre 2), la lithostratigraphie (membre 3 composé d'alluvions grossières et de dépôts fluvio-éoliens attribuables au Weichselien et étendu à toute la plaine - Deschodt, 2019 -), la présence d'une faune et d'une végétation tempérée dans le membre 2, la présence de *Belgrandia marginata* et *Anisus septemgyratus* caractéristiques des phases interglaciaires pléistocènes (partie 2.1.4.3), ainsi qu'une première date U/Th avec une probabilité d'âge minimum aux environ de 103 ka dans la partie inférieure du membre (partie 2.1.4.4) permettent de proposer avec assurance une première attribution chronologique à la fin du Saalien (membre 1) et au passage à l'Eemien (pour le membre 2). Les différentes études menées sur la Formation de Waziers (ce numéro) confirment l'attribution à la fin du Saalien (tardiglaciaire saalien) et à l'Eemien, avec un enregistrement sédimentaire et paléontologique détaillé du changement climatique dans la partie inférieure du membre 2.

3.4 - EXTENSION SPATIALE DE LA FORMATION DE WAZIERS

Les observations effectuées entre 2011 et 2015 (fig. 1) démontrent la bonne conservation de la Formation de Waziers à environ 3 m de profondeur sur plusieurs centaines de mètres dans l'axe hydrographique du paléocours supposé de la Scarpe-*Scarbus*. Les observations de 2017 et 2020 (fig. 1G) démontrent que ni sa limite vers l'amont ni sa limite vers l'aval ne sont à ce jour identifiées (fig. 19).

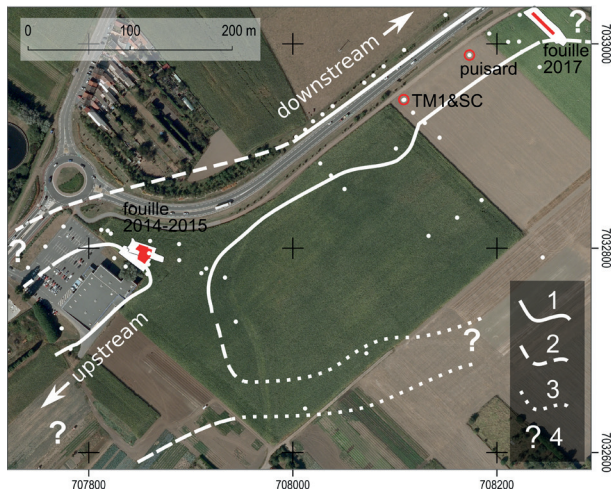


Fig. 19 : Extension connue des dépôts alluviaux du membre 2 (attribuable à l'interglaciaire eemien)

D'après l'ensemble des observations et l'exploration géophysique (Hulin & Virmoux). Fond: photo aérienne de l'IGN (mission CP12000412_29 cliché 3638, août 2012), coordonnées en mètres Lambert 93. 1/ Limite connue et localisée, 2/ Limite connue mais mal localisée, 3/ Limite hypothétique, 4/ Limites amont et aval inconnues.

Fig. 19: Known extent of alluvial deposits of Member 2 (attributable to the Eemian Interglacial). Based on all observations and geophysical exploration (Hulin & Virmoux). Background: IGN aerial photo (mission CP12000412_29 plate 3638, August 2012), Lambert 93 meters survey. 1/ Known and localized boundary, 2/ Known but poorly localized boundary, 3/ Hypothetical boundary, 4/ Unknown upstream and downstream boundaries.

CONCLUSION

La Formation de Waziers est constituée d'une alluvion à dominante clastique (membre 1) et d'une alluvion à dominante organique (membre 2). Elle occupe le fond de la paléo-vallée de la Scarpe-Scarbus sur quelques dizaines de mètres de large et au moins 600 m de long, en bordure de la plaine de la Scarpe. Elle est scellée par des alluvions grossières et des dépôts fluvio-éoliens attribués au Weichselien. La richesse de la formation de Waziers (en particulier du membre 2) en vestiges paléontologiques, en indicateurs environnementaux et paléoclimatiques permet de multiples études et leur confrontation. Elle a livré quatre niveaux archéologiques dans quatre US différentes de membres 1 et 2.

REMERCIEMENTS

Nous remercions Julienne Piana et Mathieu Rué pour leur relecture détaillée et les améliorations qu'ils ont apportés à notre travail. Nous remercions Christian Perrenoud du laboratoire HNHP implanté à Tautavel pour les analyses par DRX des cristaux de gypse. Enfin, nous remercions tous les financeurs et personnes ayant contribué plus généralement aux opérations sur Waziers dont le détail est repris dans les remerciements du premier article de ce volume (Hérisson *et al.*, 2022).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANTOINE P., 1997 - Évolution Tardiglaciaire et début Holocène des vallées de la France septentrionale: nouveaux résultats. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Séries IIA - Earth and Planetary Science*, **325** (1), 3542.
- ANTOINE P., LIMONDIN-LOZOUET N., AUGUSTE P., LOCHT J.-L., GALEHB B., REYSS J.-L., ESCUDE E., CARBONEL P., MERCIER N., BAHAIN J.-J., FALGUERES C. & VOINCHET P., 2006 - Le tuf de Caours (Somme, France): mise en évidence d'une séquence eemienne et d'un site paléolithique associé. *Quaternaire*, **17** (4), 281-320.
- ANTOINE P., DESCHODT L., GAUTHIER A., HULIN G. & VIRMOUX C., 2013 - Waziers «Bas-Terroir» 2013. Reconnaissance géophysique et tarière mécanique. Rapport de fouille programmée, Inrap, UMR8591 du CNRS, Lille, 27 p.
- ANTOINE P., GOVAL É., JAMET G., COUTARD S., MOINE O., HÉRISSEON D., AUGUSTE P., GUÉRIN G., LAGROIX F., SCHMIDT E., ROBERT V., DEBENHAM N., MESZNER S. & BAHAIN J.-J., 2014 - Les séquences loessiques pléistocène supérieur d'Havrincourt (Pas-de-Calais, France): stratigraphie, paléoenvironnement, géochronologie et occupations paléolithiques. *Quaternaire*, **25** (4), 321-368.
- ANTOINE P., COUTARD S., GUÉRIN G., DESCHODT L., GOVAL É., LOCHT J.-L. & PARIS C., 2016 - Upper Pleistocene loess-palaeosols records from Northern France in the European context: environmental background and dating of the Middle Palaeolithic. *Quaternary International*, **411**, 4-24, doi: 10.1016/j.quaint.2015.11.036.
- AUGUSTE P., SÉVÈQUE N. & LOUGUET S., 2022 - La mésofaune et macrofaune mammalienne de Waziers (Nord), Le Bas-Terroir (campagnes 2014-2015). Données paléontologiques. *Quaternaire*, **33** (4), 311-322.
- BAHAIN J.-J., GHALEB B., SHAO Q. & FALGUÈRES C., 2022 - Datation du site de Waziers (Nord de la France) par uranium-thorium (U-Th) et résonance de spin électronique combinée à l'uranium-thorium (ESR/U-Th). *Quaternaire*, **33** (4), 279-290.
- BULLOCK P., FÉDOROFF N., JONGERIUS A., STOOPS G. & TURSINA T.V., 1985 - *Handbook for soil thin section description*. Waine Research Publications, Wolverhampton, 152 p.
- CARNEAU B., 2012 - Rapport d'étude géotechnique Waziers (59), Construction d'un magasin, RD917, Etude géotechnique G12. Rapport d'étude géotechnique 2011, Fondasol géotechnique, Marcq-en-Baroeul, 129 p.
- COLLETTE O., 2007 - Sin-Le-Noble. Opération diagnostics Rue de la Houlette (14/09/07) et Rue Longue (08/10/07). Contribution géomorphologique. Rapport, contribution de spécialiste à une opération archéologique, Direction de l'Archéologie Préventive Communauté d'Agglomération du Douaisis, 19 p.
- DESCHODT L., 2014 - Chronostratigraphie et paléoenvironnements des fonds de vallée du bassin français de l'Escaut. Thèse de géographie physique, Paris 1 - Panthéon-Sorbonne, Paris, 632 p.
- 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.
- DESCHODT L., LIMONDIN-LOZOUET N., TEHEUX E., LANTOINE J. & AUGUSTE P., 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, doi: 10.4000/quaternaire.457.
- DUCROCQ T., 2001 - Le Mésolithique du bassin de la Somme. Insertion dans un cadre morphostratigraphique, environnemental et chronoculturel. *Publications du CERP*, **7**, 255 p.
- FÉDOROFF N. & GOLDBERG P., 1982 - Comparative micromorphology of two late pleistocene paleosols (in the Paris basin). *Catena*, **9**, 227-251.
- FÉDOROFF N. & COURTY M. A., 2002 - Paléosols et sols reliques. In J.-C. Miskovsky (éd.), *Géologie de la Préhistoire*. GÉOPRÉ, Presses Universitaires de Perpignan, 277-316.
- FOURRIER H., 1989 - La plaine de la Scarpe et ses bordures (Nord de la France). Analyse séquentielle des formations superficielles. *Aspects des sols*. Thèse de doctorat en Sciences de la Terre, Université de Lille 1, Villeneuve d'Ascq, 304 p.
- GAUTHIER A., 2022 - Dynamique de la végétation et changements environnementaux en réponse aux variations climatiques de la fin

- du Saalien à l'Eemien : résultats de l'analyse palynologique. *Quaternaire*, **33** (4), 291-300.
- GERASIMOVA M., 2003** - Higher levels of description - approaches to the micromorphological characterisation of Russian soils. *Catena*, **54**, 319-337.
- GITTENBERGER E., JANSSEN A.W., KUIJPER W.J., KUIPER J.G.J., MEIJER T., VELDE G. VAN DER, VRIES J.N. DE & PEETERS G.A., 1998** - *De Nederlandse zoetwatermollusken-Recente en fossiele weekdieren uit zoet en brak water*. National Natuurhistorisch Museum Naturalis, KNNV Uitgeverij & European Invertebrate Survey, 288 p.
- HÉRISSON D., ANTOINE P., AUGUSTE P., BAHAIN J., DESCHODT L., GAUTHIER A., GHALEB B., HULIN G., JAMET G., LECUYER C., LIMONDIN-LOZOUET N., MASSON B., PONEL P., SÉVÈQUE N. & VALLIN L., 2015** - *Rapport de fouille programmée Waziers «Le Bas-Terroir»*. Année 2015. Rapport de fouille archéologique programmée, Inrap, UMR 8591 et 7194 du CNRS, Ministère de la Culture, Lille, 123 p.
- HÉRISSON D., LOCHT J.-L., VALLIN L., MASSON B., HULIN G., VIRMOUX C., DESCHODT L., ANTOINE P., COUTARD S., LIMONDIN-LOZOUET N., GAUTHIER A., PONEL P., BAHAIN J., TOMBRET O., GHALEB B., AUGUSTE P., SEVEQUE N., LEFEBVRE S., LECUYER C., AMIOT R., DEVIDET M., CHICAT-LEFORT T., ALI A., POIRIER P. & FIELD M., 2017** - *Rapport de fouille programmée Waziers «Le Bas-Terroir»*. Première année de la triennale 2017-2019. Rapport de fouille archéologique programmée, Inrap, UMR 8591 et 7194 du CNRS, Ministère de la Culture, Lille, 241 p.
- HÉRISSON D., DESCHODT L., ANTOINE P., LOCHT J.-L., LACROIX S., SERGENT A., PETITE Y., VALLIN L., RORIVE S. & SIMON F., 2022** - Waziers, Le Bas-Terroir: historique de dix années de recherches archéologiques et géomorphologiques dans les antiques vasières de la Scarpe (2011-2021). *Quaternaire*, **33** (4), 225-246.
- HULIN G. & VIRMOUX C., 2022** - Waziers «Bas-Terroir»: les explorations géophysiques. *Quaternaire*, **33** (4), 273-278.
- LEBRETON L., STOETZEL E., & BAILON S., sous presse** - Waziers, Le Bas-Terroir: Les petits vertébrés et reconstitution de l'environnement local. *Quaternaire*.
- LIMONDIN-LOZOUET N., 2002** - Les mollusques continentaux. In J.-C. Miskovsky (éd.), *Géologie de la Préhistoire*. GÉOPRÉ, Presses Universitaires de Perpignan, 773784.
- LIMONDIN-LOZOUET N., 2022** - Waziers (Plaine de la Scarpe, Nord de la France): données malacologiques. *Quaternaire*, **33** (4), 301-310.
- LIMONDIN-LOZOUET N. & ANTOINE P., 2006** - A new *Lyrodiscus* (Mollusca, Gastropoda) assemblage from Saint-Acheul (Somme Valley): a reappraisal of MIS 11 malacofaunas from northern France. *Boreas*, **35** (4), 622-633.
- LIMONDIN-LOZOUET N., ANTOINE P., AUGUSTE P., BAHAIN J.-J., CARBONEL P., CHAUSSÉ C., CONNET N., DUPÉRON J., DUPÉRON M., FALGUÈRES C., FREYTET P., GHALEB B., JOLLY-SAAD M.-C., LHOMME V., LOZOUET P., MERCIER N., PASTRE J.F. & VOINCHET P., 2006** - Le tuf calcaire de La Celle-sur-Seine (Seine et Marne): nouvelles données sur un site clé du stade 11 dans le Nord de la France. *Quaternaire*, **17** (2), 529.
- LOCHT J.-L., VALLIN L., DESCHODT L., ANTOINE P., HÉRISSON D., MASSON B., AUGUSTE P. & LEFEBVRE S., 2014** - *Rapport de fouille programmée Waziers «Le Bas-Terroir»*. Rapport de fouille archéologique programmée, Inrap, UMR 8591 du CNRS, Ministère de la Culture, Lille, 138 p.
- LOCHT J., AUGUSTE P., DESCHODT L. & LANTOINE J., 2020** - *Waziers, Route de Tournai*. Rapport de diagnostic archéologique, Inrap Hauts-de-France, Glisy, 68 p.
- MARÉCHAL C. LÉCUYER C., AMIOT R., FOUREL F., ANTOINE P., AUGUSTE P., DESCHODT L. & HÉRISSON D., 2022** - Waziers (France): les isotopes de l'oxygène des dents de grands mammifères pour reconstruire les paléotempératures de l'avant-dernière transition glaciaire/interglaciaire (SIM 6/5). *Quaternaire*. **33** (4), 323-329.
- PRAUD I., BERNARD V., BOITARD-BIDAUT E., BOULEN M., BRAGUIER S., COUBRAY S., DESCHODT L., FECHNER K., MAIGROT Y., MARTIAL E., MONCHABLON C., PONEL P., SELLAMI-DIETSCH M.-F., PALAU R., & FABRE J., 2015** - *Le Néolithique final dans la vallée de la Deûle : le site d'Houplin-Ancoisne «Le Marais de Santes» (Nord)*. Recherches Archéologiques, 9, Institut National de Recherches Archéologiques Préventives, Centre National de la Recherche Scientifique Éditions, Villeneuve d'Ascq, 341 p.
- PUISSEGUR J.J., 1976** - *Mollusques continentaux quaternaires de Bourgogne*. Mémoires géologiques de l'Université de Dijon, 3, Doin, Paris, 241 p.
- RORIVE S., BUSTOS C., GUTIERREZ C., LEFEBVRE S., LOUIS É. & PETITE Y., 2012** - *Waziers «Le Bas-Terroir»*, *Chemin du Bourdeau*. Rapport de diagnostic archéologique, Direction de l'Archéologie Préventive Communauté d'Agglomération du Douaisis, 176 p.
- SERGENT A., PETITE Y., LEHNEBACH C., LOUGUET-LEFEBVRE S., LEBRUN M. & RORIVE S., 2013** - *Waziers Route de Tournai, «Le Bas-Terroir», tranche 2*. Rapport de diagnostic archéologique, Direction de l'Archéologie Préventive, Communauté d'Agglomération du Douaisis, 179 p.
- STOOPS G., MARCELINO V. & MEES F., 2010** - *Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths*. Elsevier, 720 p.

WAZIERS « BAS-TERROIR » (PLAINE DE LA SCARPE, NORD DE LA FRANCE): LES EXPLORATIONS GEOPHYSIQUES D'UNE FORMATION ALLUVIALE EEMIENNE

■
Guillaume HULIN^{1,2} & Clément VIRMOUX³

RÉSUMÉ

Le gisement paléolithique moyen de Waziers découvert en 2013 lors d'un diagnostic archéologique a rapidement été attribué à l'Eemien (SIM 5e) devenant ainsi un des rares témoins continentaux de cet interglaciaire dans le nord de l'Europe.

Cet article présente les investigations géophysiques menées de 2013 à 2015 pour aider à la reconstitution du contexte géomorphologique de site de Waziers. Deux méthodes géophysiques ont été utilisées afin de mettre en évidence la distribution spatiale des propriétés électriques des sédiments à la fois en plan sur l'ensemble du site (EM31) et en coupe le long de deux profils (tomographie de résistivité électrique). Les données obtenues ont permis de mettre en évidence la présence d'un paléochenal orienté SW-NE dont le remplissage sédimentaire est constitué de matériaux de résistivité moyenne qui s'inscrivent dans des sédiments de plus faible résistivité.

Mots-clés : géophysique, EM31, tomographie de résistivité électrique, géomorphologie, Eemien

ABSTRACT

Discovered in 2013 during an archaeological evaluation, the Palaeolithic site of Waziers has rapidly been chronologically correlated to the Eemian (MIS 5e), becoming thus one of the rare continental records of this interglacial period in northern Europe.

This work presents the results from the geophysical surveys performed from 2013 to 2015 to help reconstruct the geomorphological context of the site. The spatial distribution of the electrical properties of the sediment has been determined by two geophysical methods, carried out over the whole area (EM31) and in cross-sections along two profiles (electrical resistivity tomography). The results led to the identification a SW-NE oriented palaeochannel whose sedimentary infill is made of materials with medium resistivity embedded in sediment showing lower resistivity.

Keywords: geophysics, EM31, ERT, geomorphological context, Eemian

1 - CONTEXTE

Les alluvions limoneuses et tourbeuses observées sur la commune de Waziers (nord de la France, fig. 1) sont attribuées à un interglaciaire pléistocène et datées de 103 +3,5/-3,4 ka (Hérisson *et al.*, 2022 ; Deschodt *et al.*, 2022). Elles sont masquées par environ 3 m de sédiments ultérieurs. En plus de reconnaissances ponctuelles en puits ou à la tarière mécanique, les campagnes de fouilles programmées de 2013 (Antoine *et al.*, 2013) et 2015 (Hérisson *et al.*, 2015) ont eu recours à des moyens géophysiques pour appréhender l'extension spatiale des alluvions anciennes (fig. 1).

2 - MÉTHODES

Deux méthodes de reconnaissances géophysiques ont été utilisées: la tomographie par résistivité électrique

(ERT), selon deux panneaux de respectivement 143 et 79 m de long (notés P1 et P2), en 2013 d'une part, et une cartographie de la conductivité électrique à l'EM31 en 2013 et en 2015 d'autre part.

Ces deux techniques permettent d'appréhender les variations de résistivité électrique ou de son inverse, la conductivité (Kruse, 2013, Rejiba *et al.*, 2018). Dans ce type de contexte, caractérisé par une topographie plane et la présence d'une nappe phréatique à faible profondeur (environ -3 m), la conductivité électrique des terrains traduit essentiellement la sédimentologie des dépôts et plus particulièrement leur teneur en argile. Ainsi un sol électriquement conducteur sera considéré comme plus argileux. L'association d'une cartographie extensive par méthode électromagnétique permet de couvrir rapidement de grandes surfaces permettant de spatialiser les variations de conductivité. La tomographie permet, par l'inversion des données géophysiques, de fournir des informations plus précises sur les variations en

¹ INRAP, 121 rue d'Alésia, FR-75014 PARIS. *Courriel :* guillaume.hulin@inrap.fr

² UMR 7619 Metis, Sorbonne Université, 4 place Jussieu, FR-75252 PARIS.

³ Laboratoire de Géographie Physique, CNRS UMR 8591, 2 rue Henri Dunant, FR-94320 THIAIS, FR-92195 MEUDON. *Courriel :* clement.virmoux@lgp.cnrs.fr

profondeur de la résistivité électrique (Loke, 2000). Les deux techniques se complètent ainsi pour caractériser un contexte morfo-sédimentaire comme celui présent sur le site de Waziers.

2.1 - CARTOGRAPHIE DE LA CONDUCTIVITÉ APPARENTE DU SOL PAR EM31 (2013 ET 2015)

La prospection extensive a été réalisée à l'aide d'un Geonics EM31 monté sur un chariot tiré à la main. Il s'agit d'un équipement portable de mesure électromagnétique à basse fréquence qui permet de mesurer en continu la conductivité électrique moyenne des premiers mètres de terrain (environ 4 m à 6 m en mode Horizontal CoPlanar). Les données géophysiques étaient combinées à un

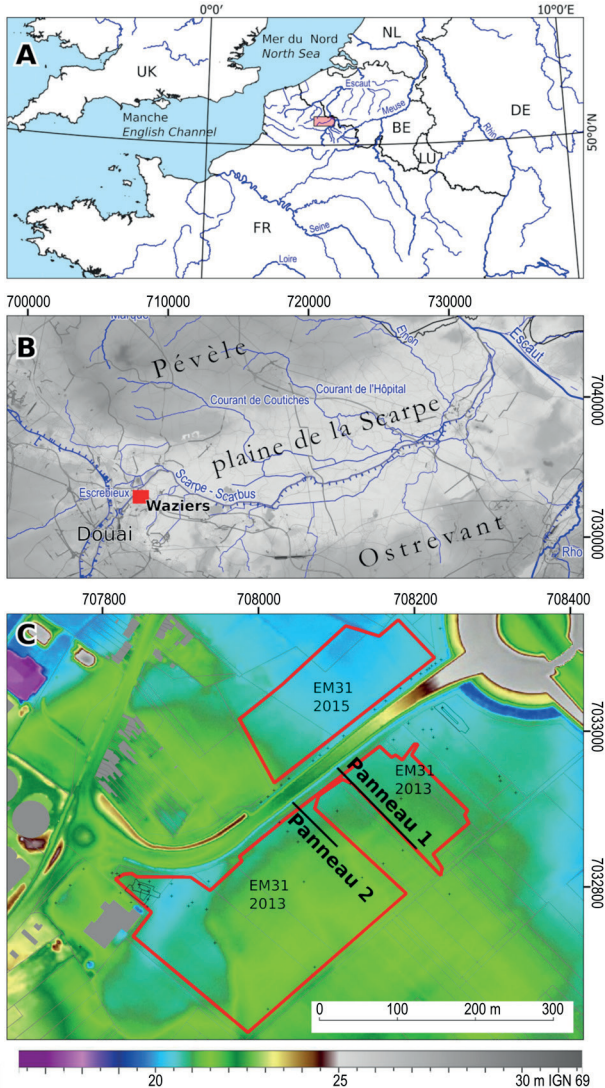


Fig. 1 : Localisation des prospections géophysiques.

(A) Localisation de la plaine de la Scarpe en Europe du nord-ouest. Coordonnées UTM. (B) Localisation du gisement de Waziers dans la plaine de la Scarpe. Coordonnées en mètres Lambert 93. (C) Localisation des panneaux électriques et des cartographies EM31 sur le gisement de Waziers «Bas-Terroir» sur MNT issu du LiDAR Scarpe (Source DREAL).

Fig. 1: Location of the geophysical surveys. (A) Location of the Scarpe Plain in North-West Europe. UTM coordinates. (B) Location of the Waziers sequence in the Scarpe plain. Lambert 93 coordinates. (C) Location of the ERT panels and EM31 mapping on the Waziers "Bas-Terroir" site with DEM background from the Scarpe LiDAR (DREAL data).

GPS Trimble GeoExplorer permettant une localisation décimétrique des données après traitement. En tout 8,9 ha ont été étudiés par cette méthode avec des profils espacés de 6 m en moyenne et un point tous les 50 cm dans le sens d'avancement. Malgré de bons résultats et une corrélation de la cartographie avec les données stratigraphiques, la méthode n'a pu être étendue au sud-est (amont) et au nord-ouest (aval) faute d'accessibilité des terrains.

2.2 - PANNEAUX ÉLECTRIQUES (2013)

Le résistivimètre utilisé est un système multi-électrodes Abem Terrameter LS composé de 64 électrodes. Il permet d'obtenir une coupe en 2D de la distribution spatiale de la résistivité électrique du sous-sol le long d'un profil. Les panneaux ont été réalisés selon un protocole Wenner-Schlumberger (Loke, 2000) avec un espacement entre électrodes de 1 m, ce qui permet d'atteindre une profondeur d'environ 7 m tout en ayant une bonne résolution spatiale. Les panneaux ont été positionnés perpendiculairement à la structure du paléochenal supposé (fig. 1) (Gourry et al., 2003). La topographie des profils a été levée au DGPS (Trimble Geoexplorer) puis post-traitée. L'inversion des données a été réalisée via le logiciel Res2dinv (Loke & Barker, 1996) en utilisant une technique d'inversion par moindres carrés. Les deux panneaux ont une erreur quadratique moyenne (RMS) inférieure à 2 % avant cinq itérations ce qui traduit des modèles de bonne qualité.

3 - RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS DES RELEVÉS GÉOPHYSIQUES

3.1 - CARTOGRAPHIE DE LA CONDUCTIVITÉ APPARENTE (EM31)

Les écarts entre les valeurs maximales et minimales se répartissent entre 40 et 80 mS/m et permettent de mettre en évidence des zones caractérisées par de fortes valeurs de conductivité (représentées en bleu, fig. 2A) séparées par une structure chenalisée longeant la route selon un axe nord-ouest/sud-ouest et où les valeurs sont beaucoup plus faibles (représenté en rouge). Les zones de fortes conductivités (supérieures à 70 mS/m) correspondent à la présence du substrat paléogène argileux dont le toit en dôme a été reconnu à faible profondeur en sondages.

D'une manière générale, les faibles valeurs de conductivité (inférieures à 50 mS/m) caractérisent ici les sédiments sablo-limoneux calcaires plus ou moins organiques, les tufs calcaires et les tourbes dans les zones chenalisées en bon accord avec les observations litho-stratigraphiques. À l'extrémité sud de la parcelle, les valeurs faibles de conductivité indiquent la présence, à faible profondeur, de dépôts crayeux de versant ou encore de graviers fluviaux reconnus en sondages à la tarière mécanique (Antoine et al., 2013). On remarque aussi une très bonne corrélation entre la carte de conductivité et celle de la microtopographie (LiDAR), qui se manifeste par des altitudes systématiquement plus faibles au

niveau des zones de chenal (figs. 1 & 2A). Les valeurs de 50 mS/m ou moins correspondent majoritairement à des altitudes de surface de 20,3 à 20,8 m IGN69 dans le secteur considéré (les altitudes maximales avoisinent 21,5 m IGN69). Enfin, la comparaison entre la carte de

conductivité et les résultats des deux transects électriques (section 3.2) permet de souligner le caractère très rapide du plongement de la rive droite du chenal plus particulièrement dans sa partie nord-ouest.

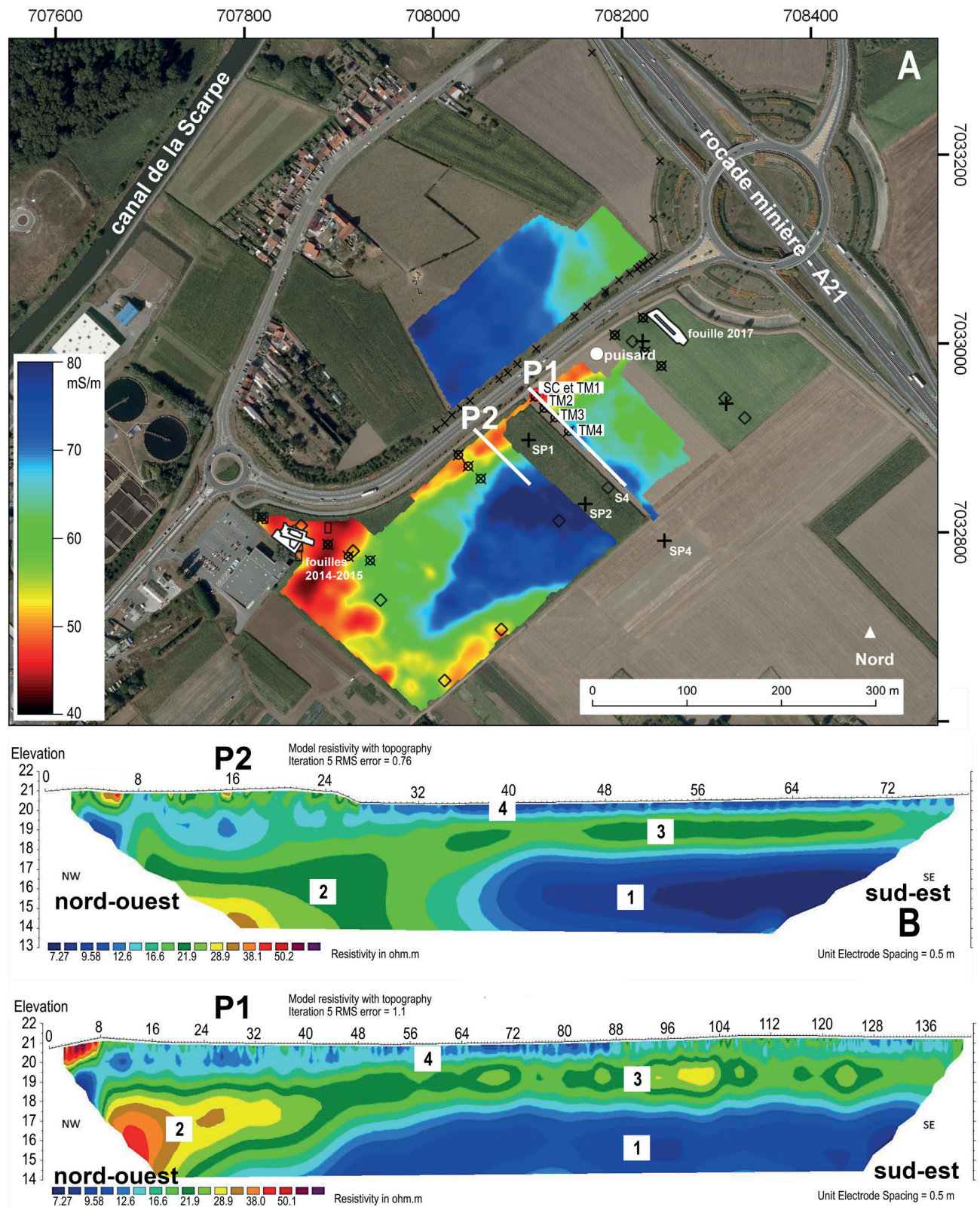


Fig. 2 : Reconnaissance géophysique.

(A) Carte de conductivité électrique mesurée à l'EM31 et localisation des profils de tomographie électrique P1 et P2, coordonnées en mètres Lambert 93, fond de carte : photo aérienne de l'IGN CP09000322_44_82079 (2009). (B) Tomographie de résistivité électrique, panneaux P1 et P2.

Fig. 2: Geophysical survey. (A) Mapping of the electrical conductivity measured by EM31 and location of the electrical resistivity tomographies P1 and P2, Lambert 93 coordinates, background map: IGN aerial photography CP09000322_44_82079 (2009). (B) Electrical resistivity tomography profiles P1 and P2.

3.2 - TOMOGRAPHIE DE RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE

3.2.1 - Description

Les données sont de bonne qualité (erreur RMS inférieure à 2 %) après suppression de quelques points de mesure au niveau du chemin (nord-ouest des panneaux) du fait d'une forte résistance de contact des électrodes à ce niveau (chemin très sec). On notera aussi quelques anomalies de résistivités liées à la sécheresse des horizons superficiels.

Les deux panneaux (fig. 2B) présentent des traits similaires. Un milieu très conducteur (environ 10 ohm.m, unité 1 sur les panneaux) à partir de 3,5 m de profondeur qui est recoupé, vers le nord-ouest, par un matériel plus résistant (30-70 ohm.m, unité 2 sur les panneaux) mettant ainsi en évidence la structure du paléochenal comblé. Sur le panneau 2, le milieu très conducteur semble s'arrêter plus brusquement vers le nord-ouest pour

laisser place à un matériel plus résistant mais la forme caractéristique d'un paléochenal est moins marquée que sur le panneau 1.

Sur les deux panneaux, un matériel de même résistivité (unité 3 sur les panneaux) que le comblement du paléochenal est connecté à celui-ci et va reposer sur le milieu très conducteur. Dans cette couche, nous observons quelques lentilles plus résistantes notamment sur le panneau 1. Enfin en surface, on observe une couche relativement conductrice (unité 4 sur les panneaux). Sur le panneau 2, la différence de résistivité en surface à 27 m s'explique par le début du décapage archéologique à ce niveau.

3.2.2 - Comparaison avec le transect tarière

Le panneau 1 coïncide avec le transect tarière mécanique passant par TM1, TM2, TM3 et TM4 (Antoine *et al.*, 2013; Deschodt *et al.*, 2022). La comparaison entre transect et panneau électrique (fig. 3) confirme la

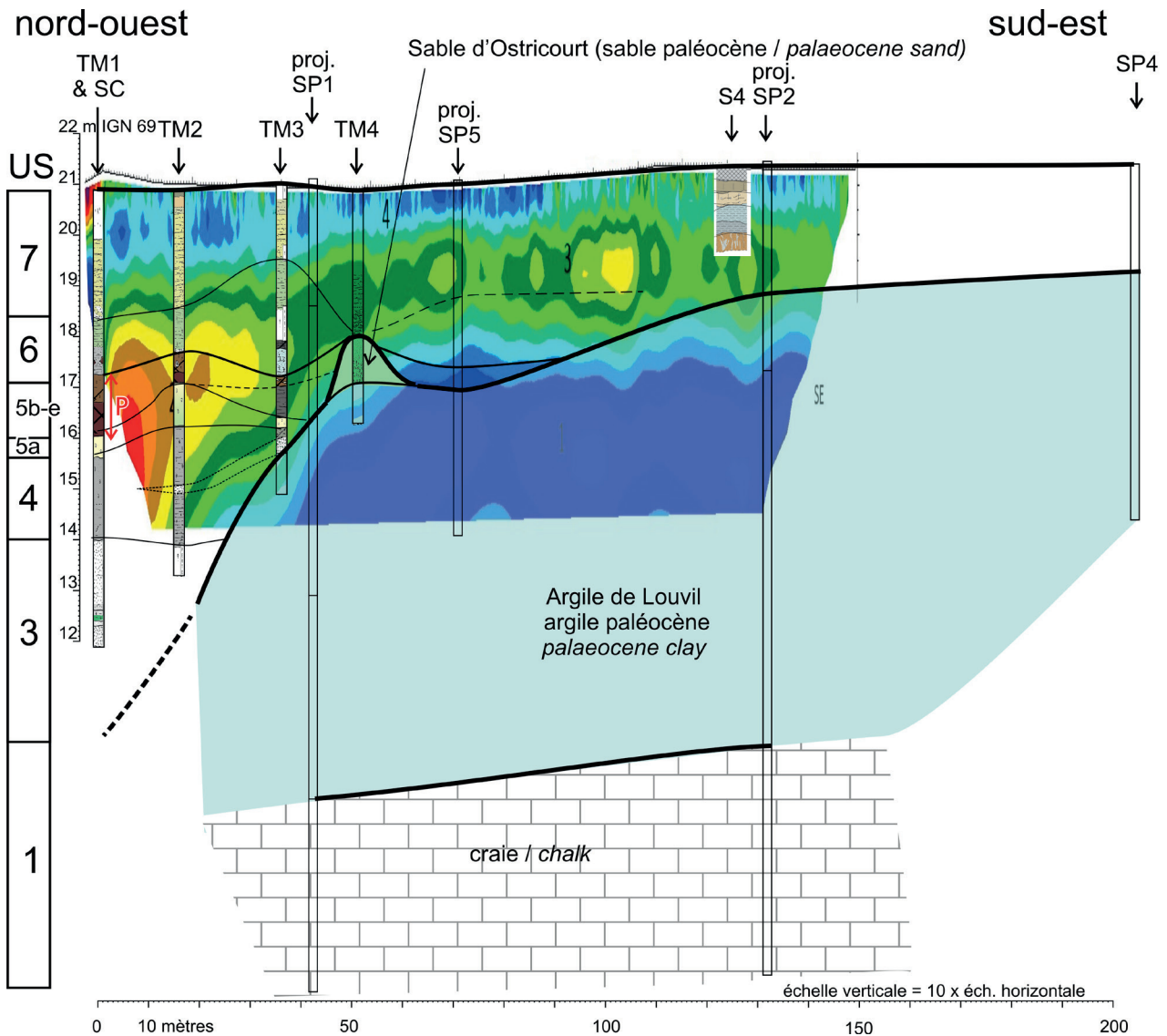


Fig. 3: Superposition du panneau électrique P1 et du transect tarière mécanique TM1.

Transect tarière mécanique d'après Antoine *et al.* (2013) et Deschodt *et al.*, 2022.

Fig. 3: Superposition of the P1 electrical resistivity tomography and the TM1 mechanical auger transect. Mechanical auger transect from Antoine *et al.* (1993) and Deschodt *et al.*, 2022.

correspondance des niveaux conducteurs (1) avec l'argile paléocène (TM3 et TM4) et le niveau plus résistant (2) avec les alluvions limoneuses et tourbeuses visibles sur TM1, TM2 et TM3. Quant à l'unité 3, elle correspond à des sables et limons avec graviers de craie.

CONCLUSION

La prospection géophysique permet de spatialiser les données ponctuelles. Elle montre clairement l'existence d'un chenal comblé par les alluvions anciennes, d'axe SE-NW, incisé dans le substrat paléocène qui en forme les rives. Vers l'amont (et la fouille 2014-2015), la zone corrélée en conductivité électrique aux alluvions interglaciaires s'élargie. Les limites amont et aval des dépôts n'ont toutefois pu être établies faute d'accès au terrain.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANTOINE P., DESCHODT L., GAUTHIER A., HULIN G. & VIRMOUX C., 2013 - *Waziers «Bas-Terroir» 2013. Reconnaissance géophysique et tarière mécanique*. Rapport de fouille programmée, INRAP, UMR8591 du CNRS, Lille, 27 p.
- DESCHODT L., ANTOINE P., JAMET G., PETITE Y., HÉRISSON D., COUTARD S. & LIMONIN-LOZOUET N., 2022 - *Waziers (Plaine de la Scarpe, Nord de la France): synthèse lithostratigraphique des observations effectuées de 2011 à 2015*. *Quaternaire*, **33** (4), 247-272.
- GOURRY J.C., VERMEERSCH F., GARCIN M. & GIOT D., 2003 - Contribution of geophysics to the study of alluvial deposits: a case study in the Val d'Avaray area of the River Loire, France. *Journal of Applied Geophysics*, **54**, 35-49.
- HÉRISSON D., ANTOINE P., AUGUSTE P., BAHAIN J., DESCHODT L., GAUTHIER A., GHALEB B., HULIN G., JAMET G., LECUYER C., LIMONDIN-LOZOUET N., MASSON B., PONEL P., SÉVÈQUE N. & VALLIN L., 2015 - *Rapport de fouille programmée Waziers «Le Bas Terroir». Année 2015*. Rapport de fouille archéologique programmée, INRAP, UMR 8591 et 7194 du CNRS, Ministère de la Culture, Lille, 123 p.
- HÉRISSON D., DESCHODT L., ANTOINE P., LOCHT J.-L., LACROIX S., SERGENT A., PETITE Y., VALLIN L., RORIVE S. & SIMON F., 2022 - *Waziers, Le Bas-Terroir: historique de dix années de recherches archéologiques et géomorphologiques dans un marais pléistocène de la plaine de la Scarpe (2011-2021)*. *Quaternaire*, **33** (4), 225-246.
- KRUSE S., 2013 - Near-surface geophysics in geomorphology. In J. Shroder, M.P. Bishop (eds.), *Treatise on Geomorphology*, **3**, Academic Press, California, US, 103-129.
- LOKE M.H., 2000 - *Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies: A practical guide to 2-D and 3-D surveys*. Electronic version available from <http://www.terraplus.com>.
- LOKE M.H. & BARKER R.D., 1996 - Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. *Geophysical prospecting*, **44**, 131-152.
- REJIBA F., SCHAMPER C., CHEVALIER A., DELEPLANQUE B., HOVHANNISSIAN G., THIESSON J. & WEILL P., 2018 - Multiconfiguration electromagnetic induction survey for paleochannel internal structure imaging: a case study in the alluvial plain of the River Seine, France. *Hydrology and Earth System Sciences*, **22** (1), 159-170.

DATATION DU SITE DE WAZIERS (NORD DE LA FRANCE) PAR URANIUM-THORIUM (U-TH), RÉSONANCE DE SPIN ÉLECTRONIQUE COMBINÉE À L'URANIUM-THORIUM (ESR/ U-TH) ET LUMINESCENCE STIMULÉE OPTIQUEMENT (OSL)



Jean-Jacques BAHAIN¹, Bassam GHALEB², Qingfeng SHAO³,
Christophe FALGUÈRES¹, Emmanuel VARTANIAN⁴ & Céline ROQUE⁴

RÉSUMÉ

Des analyses par uranium-thorium (U-Th-TIMS), par résonance de spin électronique combinée à l'U-Th (ESR/U-Th) et par luminescence stimulée optiquement (OSL) ont été réalisées sur des échantillons provenant de la formation de Waziers, en France septentrionale. Ces trois méthodes ont été respectivement appliquées sur un échantillon de gyrogonite provenant d'un niveau corrélié à l'unité stratigraphique US5, sur des dents d'herbivore provenant de l'unité US4 sous-jacente ou recueillies en limite des US4 et US5 et sur deux prélèvements sédimentaires de l'US4. Les résultats obtenus permettent de dater la mise en place des unités ayant livré les dents analysées de la transition entre le Tardiglaciaire saalien (SIM, 6) et l'Interglaciaire eemien (SIM 5e), en bon accord avec les données paléoenvironnementales disponibles, issues des études malacologiques et palynologiques. Les dates OSL obtenues sur les deux échantillons de sédiments de l'US4 sont globalement compatibles avec celles obtenues par ESR/U-Th sur des dents issues de cette même unité ou de la limite entre US4 et US5. L'âge obtenu sur la gyrogonite, bien qu'indiquant un âge contemporain du SIM 5, apparaît pour sa part légèrement sous-estimé et doit donc bien être considéré comme un âge minimum.

Mots-clés: Uranium-Thorium, ESR/U-Th, OSL, gyrogonite, dents, sédiments, Waziers

ABSTRACT

URANIUM-SERIES (U-SERIES), COMBINED URANIUM-SERIES AND ELECTRON SPIN RESONANCE (ESR/U-SERIES), AND OPTICALLY STIMULATED LUMINESCENCE (OSL) DATING OF WAZIERS (NORTHERN FRANCE) Uranium-series (u-series-tims), electron spin resonance combined with u-series (esr/u-series) and optically stimulated luminescence (osl) analyses were carried out on one gyrogonite sample correlated to stratigraphic unit us5, three herbivore teeth collected from unit us4 and at the limit between US4 and US5, and two sediment samples from unit US4 of the Waziers Formation, northern France, respectively. Results enable a correlation of the dated levels to the transition between the Saalian Late Glacial (MIS 6) and the Eemian Interglacial (MIS 5e) periods, in good agreement with the palaeoenvironmental data available from malacological and palynological studies. In addition, OSL results are overall compatible with the combined ESR/U-series age estimates on teeth recovered from the same unit (US4). In contrast, the U-series dating of the gyrogonite provides a MIS 5 age that appears to be slightly underestimated, and should therefore be considered as a minimum age constraint.

Keywords: Uranium-series, ESR/U-series, OSL, gyrogonite, teeth, sediments, Waziers

1 - INTRODUCTION

Afin de préciser l'âge des dépôts du site de Waziers, qu'une datation C-14 de 43 500 BP obtenue antérieurement indique comme pléistocène (Beta : 348494 dans Hérisson *et al.*, 2022 ; Deschodt *et al.*, 2022), plusieurs méthodes de datation ont été utilisées. Il s'agit de la méthode de datation par uranium-thorium (U-Th) qui a été appliquée sur de la gyrogonite issue de dépôts interglaciaires de l'observation dite « du Puisard », corrélés avec l'unité US5 (Deschodt *et al.*, 2022), de la méthode combinant résonance de spin électronique et uranium-thorium (ESR/U-Th), qui a été appliquée sur des dents provenant

des niveaux tardiglaciaires de l'unité US4 et de la limite entre US4 et US5 (fig. 1), et de la méthode de datation par luminescence stimulée optiquement (OSL) mise en œuvre sur deux prélèvements de sédiments de l'US4.

2 - MATÉRIEL ET MÉTHODE

2.1 - DATATION U-TH DE CARBONATES

La datation par les séries de l'uranium est basée sur la mesure de déséquilibres radioactifs au sein des radioéléments faisant partie de la chaîne radioactive

¹ UMR7194 HNHP, MNHN-CNRS-UPVD, Département Homme et Environnement, Muséum national d'histoire naturelle, 1 rue René Panhard, FR-75013 PARIS, France. *Courriel* : bahain@mnhn.fr, falgueres@mnhn.fr

² GEOTOP, UQAM-McGill University, CAN-8888 MONTRÉAL, QC H3C 3P8, Canada. *Courriel* : ghaleb.bassam@uqam.ca

³ College of Geography Science, Nanjing Normal University, CHN-210023 NANJING, China. *Courriel* : qingfengshao@njnu.edu.cn

⁴ SAS Re.S.Artes, 84 rue du Tondu, FR-33000 BORDEAUX, France. *Courriel* : emmanuel.vartanian@res-artes.com, celine.roque@res-artes.com

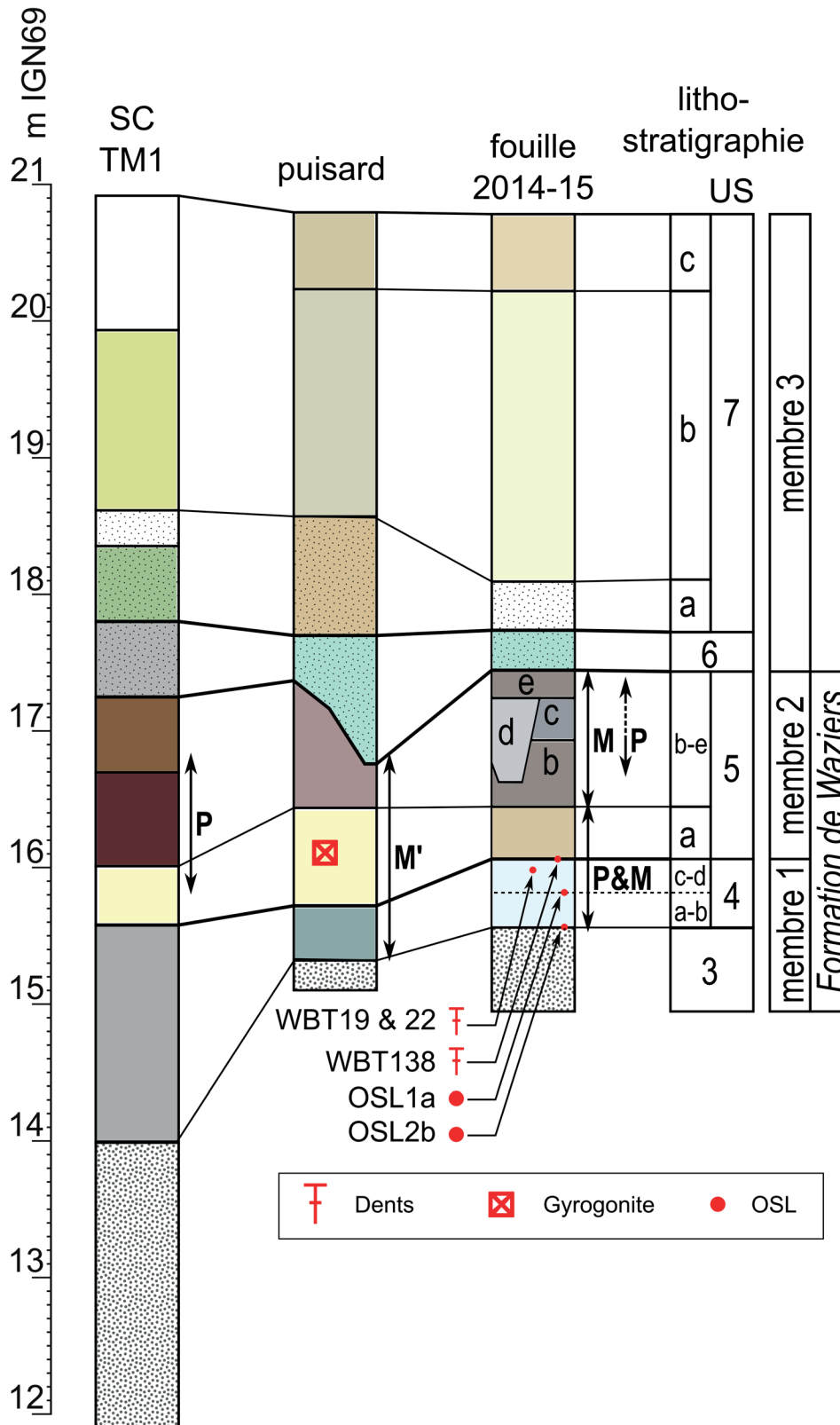


Fig. 1 : Position stratigraphique des échantillons de Waziers analysés par U-Th TIMS (gyrogonite) et ESR/U-Th (dents).

(M) Analyse malacologique, Limondin-Louzouet, 2022. (M') Analyse malacologique, Limondin-Louzouet in Deschodt *et al.*, 2022, (P) Analyse palynologique, Gauthier, 2022.

*Fig. 1: Stratigraphic position of the Waziers samples analysed by U-Th TIMS (gyrogonite) and ESR/U-Th (teeth). (M) Malacological analysis, Limondin-Louzouet, 2022. (M') Malacological analysis, Limondin-Louzouet in Deschodt *et al.*, 2022, (P) Palynological analysis, Gauthier, 2022.*

naturelle de l'uranium-238 (^{238}U). La différence de comportement géochimique entre l'uranium, soluble dans certaines conditions, et le thorium, qui est quasi insoluble, fait que les eaux naturelles contiennent généralement de l'uranium mais pas de thorium. Les carbonates se formant à partir de ces eaux naturelles contiennent donc initialement également des traces d'uranium mais ne contiennent pas de thorium, puis, avec le temps, la désintégration radioactive de l'uranium-238 et de son descendant l'uranium-234 (^{234}U) présents dans l'échantillon entraîne la production de thorium-230 (^{230}Th) au sein de ces carbonates. Connaissant les périodes et constantes de désintégration de ces trois isotopes, leur mesure dans un échantillon de carbonate peut ainsi permettre d'évaluer l'âge de sa cristallisation (Ghaleb & Falguères, 2017).

À Waziers, un échantillon de gyrogonite, forme fossile des oogones de characée et organe reproducteur femelle de ces algues vertes pluricellulaires, a été prélevé dans un puisard réalisé en 2014, dans des limons sableux carbonatés homogènes à faciès tuffacé fin avec restes de bois et mollusques interglaciaires pléistocènes (observation dite du «Puisard», Deschodt *et al.*, 2022). L'étude palynologique menée sur une carotte sédimentaire prélevée à environ 70 m de ce puisard indique la nature interglaciaire du dépôt et permet de le placer dans une période de transition climatique, en début de période tempérée (zone palynologique WAZ3 du sondage carotté SC; voir Gauthier, 2022). Ce niveau peut ainsi être corrélé avec l'US5a des fouilles 2014/2015, premier dépôt du membre 2 de la Formation de Waziers (fig. 1, Deschodt *et al.*, 2022).

Cet échantillon de gyrogonite a été analysé par uranium-thorium au GEOTOP de Montréal (UQAM/McGill) en utilisant un spectromètre de masse à ionisation thermique (TIMS) selon le protocole proposé par Hillaire Marcel *et al.* (1996). L'échantillon, après avoir été lavé à l'eau distillée, a été dissous à l'aide d'acide nitrique HNO_3 7 N dans un bécher en téflon et une quantité précise de traceur ^{236}U - ^{233}U - ^{229}Th a été ajoutée pour quantifier l'extraction chimique effectuée par la suite. Après évaporation de cette solution par séchage à basse température ($\sim 60^\circ\text{C}$), les échantillons ont été de nouveau dissous dans de l'acide nitrique HNO_3 7 N, de l'hydroxyde de fer $\text{Fe}(\text{OH})_3$ a été ajouté à la solution, puis les échantillons ont été précipités avec de l'ammoniaque NH_4OH 14 M. Les précipités obtenus ont été lavés avec de l'eau ultra-pure (MilliQ) et dissous dans de l'acide chlorhydrique HCl 6 N. Les extractions chimiques et les purifications ont ensuite été réalisées de la façon suivante: la séparation U-Th a été réalisée en utilisant un volume de 2 ml de résine anionique AG1X8; le thorium a d'abord été récupéré par élution avec de l'acide chlorhydrique HCl 6 N puis l'uranium et le fer ont été récupérés par élution avec de l'eau H_2O . L'uranium a été ensuite purifié dans un volume de 0,2 ml de résine U-Teva (Elchrom industry TM), puis le fer en a été élué avec de l'acide nitrique HNO_3 3 N et l'uranium avec de l'acide nitrique HNO_3 à 0,02 N. La purification du thorium a été effectuée pour sa part sur une résine AG1X8 de 2 ml conditionnée par de

l'acide nitrique HNO_3 7 N, puis le thorium a été élué avec de l'acide chlorhydrique HCl 6 N. Après séchage, une dernière étape de purification a été réalisée sur une résine AG1X8 de 0,2 ml dans de l'acide nitrique HNO_3 7 N, le thorium étant ensuite élué avec de l'acide chlorhydrique HCl 6 N. Les fractions d'uranium et de thorium ainsi obtenues ont été déposées sur des filaments de rhénium (Re) raffiné en une seule zone entre deux couches de graphite colloïdal. Les mesures isotopiques ont été réalisées à partir de ces filaments à l'aide d'un TIMS à secteur magnétique VG équipé d'un filtre électrostatique et d'un compteur d'ions Daly. Les isotopes de l'uranium et du thorium présents dans l'échantillon (y compris ceux du traceur) ont été mesurés en mode saut de pic sur le compteur d'ions Daly. Le fractionnement de masse pour U a été corrigé par le double pic $^{236}\text{U}/^{233}\text{U}$ (1,1322), tandis que le fractionnement de masse pour Th a été considéré comme négligeable par rapport à l'erreur analytique. La reproductibilité analytique globale, estimée à partir des mesures répétées des étalons, est généralement meilleure que 0,5 % pour la concentration d'U et les rapports $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, et se situe entre 0,5 % et 1 % pour les rapports $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ (intervalle d'erreur 2σ). Les blancs totaux (incluant la chimie, le carbone et le filament) sont de 25 pg pour U et 150 pg pour Th.

2.2 - DATATION ESR/U-TH DE RESTES PALÉONTOLOGIQUES

Depuis la fin des années 1980, l'utilisation combinée des méthodes de la résonance de spin électronique (ESR) et de la méthode uranium-thorium (ESR/U-Th) permet de dater les restes paléontologiques pléistocènes. La datation par résonance de spin électronique (Grün, 1989) est fondée sur l'accumulation au cours du temps d'électrons piégés sous l'effet de la radioactivité naturelle dans des défauts du système cristallin des minéraux. Le nombre total d'électrons piégés est alors proportionnel à la dose totale de radiations reçue par l'échantillon au cours du temps (appelée dose équivalente, D_E , et exprimée en grays, Gy) et à la dose naturelle de radiations reçue par l'échantillon au cours d'une année (ou dose annuelle, d_a , en $\mu\text{Gy}/\text{an}$). La fossilisation des restes paléontologiques s'accompagne d'une incorporation d'uranium dans les tissus dentaires et osseux, cette dose annuelle peut varier au cours du temps en fonction de l'évolution de la teneur en radioéléments de l'échantillon et de son environnement.

Le calcul de l'âge ESR d'un échantillon se décompose en deux parties: d'une part la détermination de la dose équivalente, d'autre part celle de la dose annuelle.

Dans ce travail, cette dernière a été calculée à partir des teneurs en radionucléides de l'échantillon et de son environnement immédiat (sédiment) et de la position géographique du gisement étudié. Elle a pu être déterminée en utilisant des facteurs de conversion liant teneurs en radioéléments et contributions à la dose annuelle en fonction des particules α et β ou rayonnements γ émis par ces derniers (Guérin *et al.*, 2011) et en utilisant les données de Prescott & Hutton (1994) pour estimer la dose liée aux

rayonnements cosmiques auxquels les échantillons ont été soumis. Cette dose cosmique dépend principalement de la profondeur à laquelle ils ont été découverts. Dans cette étude, la détermination de la dose annuelle a impliqué de plus une phase de mesures dosimétriques *in situ* dans les différents niveaux d'où proviennent les échantillons analysés, afin de déterminer plus précisément la contribution due aux rayonnements gamma d_γ dans le cas d'une séquence stratigraphique complexe qu'à partir de la simple teneur en radioéléments du sédiment de la couche d'où proviennent les échantillons analysés. A Waziers, des mesures ont pu être réalisées dans les deux niveaux échantillonnés (une mesure par niveau) sur le seul témoin stratigraphique conservé à proximité de la zone de fouille d'où proviennent les dents.

La dose équivalente a pour sa part été déterminée par la méthode «de l'addition». Différentes aliquotes d'un même échantillon sont «vieillies» artificiellement par irradiation. A chaque dose d'irradiation appliquée correspond une valeur particulière de l'intensité ESR du signal utilisé pour la datation. L'extrapolation de la courbe théorique de croissance de l'intensité ESR en fonction de la dose ajoutée ainsi obtenue à une intensité nulle donne la valeur de la dose équivalente de l'échantillon considéré.

Pour dater un échantillon, il faut de plus modéliser la cinétique d'incorporation de l'uranium dans les différents

tissus dentaires et osseux au cours de la fossilisation. Un modèle combinant données U-Th et ESR a ainsi été proposé (modèle US, Grün *et al.*, 1988), mais il ne peut être appliqué si une perte d'uranium (lessivage) s'est produite après l'incorporation. Shao *et al.* (2012) ont récemment proposé un modèle de calcul d'âge combinant U-Th et ESR, nommé modèle d'incorporation à vitesse croissante (*Accelerating Uptake model*, AU). L'incorporation est alors décrite comme un processus accélérant au cours du temps et est définie par deux paramètres: le taux d'incorporation initial, f , et l'accélération de ce taux, a . Pour les calculs, on définit un paramètre supplémentaire, $n=a/f$, qui permet de décrire l'évolution de la teneur en uranium dans le tissu considéré, qui peut avoir été plus forte dans le passé que celle mesurée aujourd'hui (fig. 2). Il est important de souligner qu'un unique âge ESR/U-Th peut ainsi être obtenu à partir d'un jeu de données mêlant données ESR (D_E , contributions aux débits de dose annuels, etc.) et U-Th (teneurs en uranium, rapports isotopiques, etc.)

Quatre dents provenant de la fouille programmée 2014 du site de Waziers ont été analysées de cette façon dans ce travail. Trois d'entre elles, des dents de cheval provenant probablement d'un même individu (WBT19, WBT22-1 et WBT 22-2), ont été recueillies dans l'US4; la quatrième, qui correspond à une dent de cervidé (WBT-138), provient

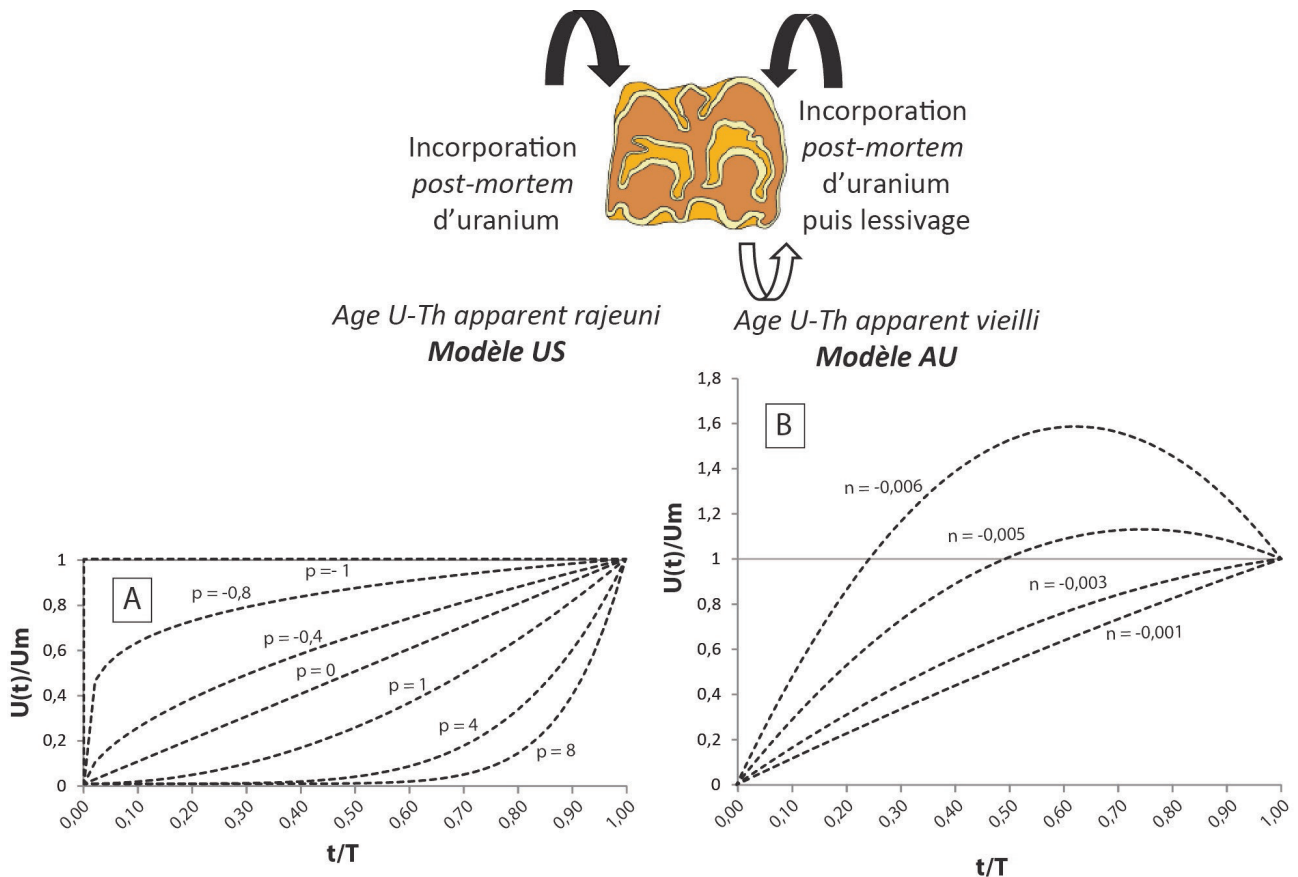


Fig. 2 : Évolution de la teneur en uranium dans un tissu dentaire fossile donné en fonction du paramètre d'incorporation déterminé.

(A) Incorporation seule, modèle US (Grün *et al.*, 1988). (B) incorporation puis lessivage, modèle AU (Shao *et al.*, 2012). $U(t)$ = teneur en uranium à l'instant t . U_m = teneur en uranium mesurée dans le tissu considéré. T = âge de l'échantillon.

*Fig. 2: Evolution of the uranium content in a given fossil dental tissue as a function of the determined incorporation parameter: (A) Incorporation only, US model (Grün *et al.*, 1988). (B) Incorporation followed by leaching, AU model (Shao *et al.*, 2012). $U(t)$ = U content at time t . U_m = present-day U content measured in the considered tissue. T = sample age.*

de la limite entre les US4 et US5 (pour plus de détails sur la localisation des dents, voir figures 2-7 de l'article de Maréchal *et al.*, 2022). D'après l'étude malacologique (Limondin-Lozouet, 2022), ces échantillons seraient contemporains de la phase tardiglaciaire d'une période glaciaire et sont stratigraphiquement plus anciens que l'échantillon de gyrogonite daté par U-Th (voir fig. 1).

Dans cette étude, les dents ont été analysées selon le protocole expérimental décrit dans Bahain *et al.* (2002).

Au laboratoire, les lamelles d'émail ont d'abord été extraites, puis nettoyées au moyen d'une fraise de dentiste afin d'éliminer toute contamination par du sédiment, de la dentine ou du ciment, bien que ce dernier n'ait sur les dents de Waziers soit absent (cervidé), soit présent en trop faible quantité pour pouvoir être analysé (cheval). Ce nettoyage permet d'éliminer la contribution des rayons α «externes» à l'échantillon, afin de corriger les doses β tant interne, c'est-à-dire liée aux radioéléments présents dans ce dernier, qu'externe, issues des radioéléments du sédiment (Brennan *et al.*, 1997), ce qui nécessite de mesurer l'épaisseur de celui-ci avant, au cours et après la manipulation.

L'échantillon d'émail a ensuite été broyé mécaniquement, puis tamisé. La fraction 100-200 μm récupérée lors de ce tamisage a été séparée en quatorze aliquotes. Treize de celles-ci ont été irradiées au CENIEH (Burgos, Espagne) à l'aide d'une source gamma de ^{137}Cs (Gammacell) à des doses de 25, 40, 63, 100, 160, 250, 400, 630, 1 000, 1 600, 2 500, 4 000 et 6 300 Gy. Les intensités ESR des quatorze aliquotes ont ensuite été mesurées avec un spectromètre Bruker EMX, puis les courbes de croissance intensités/doses ont été tracées sur le logiciel Origin et les paléodoses déterminées en utilisant une fonction exponentielle simple.

Les activités des différents radionucléides présents dans les tissus dentaires (essentiellement ^{238}U , ^{226}Ra et ^{222}Rn) ont été mesurées par spectrométrie gamma, puis ces tissus analysés par MC-ICP-MS (*spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif et multi-collection*, Université Normale de Nanjing, Chine), ce qui permet d'obtenir les rapports $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ et $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$, indispensables au calcul des facteurs d'incorporation pour chaque tissu (pour plus de détails analytiques sur le traitement chimique, voir Shao *et al.*, 2015). Cette double analyse permet également d'estimer, en croisant les données MC-ICP-MS et γ , les éventuelles fuites de radium et radon, éléments très mobiles dont les descendants sont d'importants émetteurs α , β et γ (Bahain *et al.*, 1992).

Les activités des différents radionucléides contenus dans le sédiment entourant les échantillons ont également été mesurées par spectrométrie γ , de façon à calculer leur contribution aux doses β reçues par ces derniers. Les teneurs en eau de ces sédiments, indiquées en pourcentage poids de sédiment sec, ont été mesurées préalablement à la mesure par spectrométrie gamma par séchage à l'étuve durant une semaine à 40 °C.

Enfin les âges ESR/U-Th, les différentes contributions à la dose annuelle, calculée en tenant compte des épaisseurs

d'émail enlevées lors du nettoyage, et les paramètres d'incorporation de l'uranium pour chaque tissu dentaire ont été calculés en utilisant le logiciel «CAMAGE» de Qingfeng Shao.

2.3 - DATATION PAR OSL DE SEDIMENTS

La luminescence stimulée optiquement –OSL–, comme la thermoluminescence et l'ESR, repose sur l'étude de la radioactivité naturelle et la capacité des cristaux à accumuler les effets de cette irradiation. L'énergie ainsi apportée, ou dose d'irradiation, est stockée dans des défauts des cristaux. Cette énergie est proportionnelle à l'intensité de la radioactivité reçue par unité de temps, et au temps pendant lequel les échantillons ont été soumis à cette irradiation.

L'OSL correspond à l'émission de lumière (luminescence) provoquée par un apport d'énergie lumineuse. L'intensité de la luminescence d'un échantillon fossile est proportionnelle à l'énergie absorbée par le cristal et dépend donc de la dose d'irradiation accumulée au cours du temps (Huntley *et al.*, 1985, Vartanian, 1999, Wintle, 2008).

De même qu'en ESR, le calcul de l'âge OSL d'un échantillon se décompose en deux parties : d'une part la détermination de la dose équivalente (DE), d'autre part celle de la dose annuelle.

Les mesures d'OSL permettent de déterminer la dose d'irradiation naturelle (DE) reçue depuis un instant zéro qui correspond, pour les sédiments éoliens ou fluviatiles, à la dernière exposition des cristaux à la lumière (typiquement, leur enfouissement). Le protocole expérimental utilisé, dénommé SAR (*single-aliquot regenerative-dose protocol*, Duller, 1994; Murray et Wintle, 2000) s'appuie sur la comparaison directe entre l'intensité de luminescence mesurée sur le matériau et celles générées par des irradiations β à des doses connues en laboratoire (source : 90Sr).

Parallèlement, comme pour l'ESR, il est nécessaire de déterminer la dose d'irradiation annuelle reçue par les cristaux. Cette dernière rend compte de la quantité d'énergie déposée chaque année par les particules α et β et les photons γ et produite par les éléments radioactifs présents dans toute matière. Pour cela nous utilisons des tables de correspondance liant teneur en éléments radioactifs et doses d'irradiation reçues par l'échantillon (Guérin *et al.*, 2011), qu'elle émane du matériau lui-même ou de son environnement, incluant également une contribution du rayonnement cosmique calculée d'après Prescott & Hutton (1994).

Dans le cas présent, cette grandeur a été déterminée, pour une part, à partir des teneurs en éléments radioactifs des échantillons établies par ICP-MS. Malheureusement, il n'a pas été possible de les compléter par des mesures *in situ* directes. Nous avons donc adopté un choix raisonné consistant à utiliser une mesure de dosimétrie *in situ* effectuée dans le même niveau sédimentaire, mais sur une coupe éloignée de celle sur laquelle ont été faits les prélèvements, ce qui ne garantit pas la prise en compte adéquate des éventuelles hétérogénéités radioactives locales.

Deux échantillons de sédiment, provenant de la fouille programmée 2014 du site de Waziers ont été analysées de cette façon dans ce travail: OSL1B et OSL2A. Ils proviennent tous deux de l'US4.

Préalablement aux mesures d'OSL, les sédiments ont été tamisés afin de sélectionner les minéraux ayant une granulométrie comprise entre 80 et 125 μm . Les poudres ainsi obtenues ont été traitées chimiquement: par de l'HCl 8 % pour éliminer les carbonates (en début et en fin de cycle de préparation chimique), par de l'H₂O₂ 30 % pour éliminer les matières organiques, puis par de l'HF 40 % pour dissoudre les feldspaths et permettre ainsi la sélection exclusive des quartz, tout en éliminant de ces derniers la composante α à la dose d'irradiation naturelle.

Toutes les expériences permettant l'obtention de la dose équivalente sont effectuées sur la même prise d'essai. 12 disques ont été étudiés pour l'échantillon OSL2A et 13 pour OSL1B, ce qui permet l'obtention d'autant de mesures de la dose équivalente. Les changements de sensibilité classiquement observés sur les quartz sont contrôlés et corrigés par des mesures de calibration obtenues après une irradiation avec une dose test.

Les mesures ont été effectuées sous azote à l'aide d'un appareillage LexsygSmart de Freiberg Instruments et délivrant une dose d'irradiation bêta de 0,116 Gy/s (source: ⁹⁰Sr). Cet appareil est équipé avec des couronnes de LED (diodes électroluminescentes) infrarouges (850 \pm 30 nm) et bleues (458 \pm 30 nm).

Les mesures ont été effectuées avec les diodes bleues, après avoir illuminé les cristaux sur les disques avec les diodes infrarouges. L'utilisation de l'éclairage infrarouge pendant un chauffage à 240°C (*hotbleach*) permet d'éliminer la contribution du signal de luminescence émanant des éventuels feldspaths résiduels.

Pour les deux échantillons analysés, nos mesures n'ont pas révélé la présence d'un signal sous l'éclairage infrarouge, ce qui traduit l'absence de feldspaths dans nos échantillons. Nos observations suggèrent que le signal OSL mesuré est dominé par les quartz et qu'il n'est pas nécessaire de corriger.

La composition radiochimique des sédiments (teneurs en uranium, thorium, potassium et rubidium) a été établie par ICP-MS sur les échantillons séchés et broyés finement. Pour le calcul de la contribution β à l'irradiation annuelle, nous avons adopté une humidité proche de la saturation (22,5 \pm 1,0 %), en accord avec les mesures effectuées sur d'autres sédiments du site lors de l'étude ESR/U-Th, les échantillons analysés en OSL étant parvenus secs au laboratoire.

3 - RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 - DATATION U-TH DE CARBONATES

Les résultats de l'analyse U-Th de l'échantillon de gyronite de Waziers sont présentés tableau 1 et l'âge calculé, qu'il faut considérer comme un âge minimal, est de 103,0 +3,5/-3,4 ka. Cet âge semble un peu récent

par rapport à l'âge de l'interglaciaire eemien, de l'ordre de 123 ka (Lisiecki & Raymo, 2005). Ce rajeunissement pourrait être dû à une incorporation post-mortem d'une partie de l'uranium dans l'échantillon, mais ceci reste hypothétique car ce type de matériau est mal connu et peu utilisé jusqu'à présent pour des datations U-Th.

3.2 - DATATION ESR/U-TH DE RESTES PALÉONTOLOGIQUES

Les tableaux 2, 3 et 4 présentent respectivement les résultats des analyses U-Th, les rapports ²²²Rn/²³⁰Th déterminés par croisement des données obtenues par MC-ICP-MS et spectrométrie gamma sur les échantillons analysés et les épaisseurs d'émail impactées par la préparation, et les teneurs en radioéléments et eau des sédiments associés. Les âges ESR/U-Th, les différentes contributions à la dose annuelle et les paramètres d'incorporation de l'uranium pour chaque tissu dentaire des dents de Waziers sont pour leur part présentés tableau 5.

Plusieurs points intéressants sont à souligner dans les données et résultats obtenus sur celles-ci :

- Les doses équivalentes déterminées pour les dents de l'US4 sont faibles mais très homogènes, comprises entre 58 et 60 Gy. Celle déterminée pour la dent WBT-138 provenant de la limite US4/US5 est plus élevée, 76,47 \pm 2,72 Gy, peut-être en raison de la radioactivité plus importante des sédiments de ce niveau, situé plus haut dans la séquence que les dents de cheval de l'US4 (fig. 3);

- A Waziers, les mesures U-Th ont été rendues difficiles par la faible teneur en uranium de l'ensemble des tissus dentaires. Il faut en effet noter le comportement géochimique très particulier des tissus dentaires de Waziers, avec des teneurs en uranium en général inférieures à 0,01 ppm et surtout du même ordre ou voire plus importante dans les émail que dans les dentines, ce qui est assez inhabituel. Ce comportement est sans doute lié au milieu réducteur lié à la décomposition de la matière organique végétale de la tourbe qui fait que l'uranium va plutôt se fixer dans les acides humiques de celle-ci plutôt que dans les restes paléontologiques pris dans les dépôts tourbeux, alors que le thorium va être absorbé sur les particules détritiques (Geyh, 2008; Waas *et al.*, 2011);

- En conséquence la dose liée à l'incorporation d'uranium dans les tissus dentaires a un impact très limité sur la dose annuelle (<10 %) par rapport à la dose externe qui représente donc plus de 90 % de celle-ci (fig. 4). Dans ces conditions, les mesures dosimétriques *in situ* sont prépondérantes dans le calcul d'âge et il faut souligner qu'à Waziers, un seul point de mesure a été fait par couche ayant livré des dents. Ceci explique peut-être en partie la dispersion des âges obtenus pour les dents de la couche U4c-d. Une couverture plus large de la dosimétrie de ces niveaux sera à l'avenir nécessaire pour juger de l'homogénéité – on non – des doses auxquelles sont soumises les échantillons;

Echantillon	^{238}U (ppb)	^{232}Th (ppb)	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$	Age (ka)
CHG-1	395,14 ± 1,93	19,44 ± 0,14	1,3388 ± 0,0091	0,6316 ± 0,0130	52,5 ± 1,1	103,036 +3,525/-3,413

Tab. 1 : Résultats de l'analyse U-Th d'un gyrogonite de Waziers (US 5).

Tab. 1: U-series results from a gyrogonite from Waziers (US 5).

Echantillon	Tissu dentaire	$^{222}\text{Rn}/^{230}\text{Th}$ *	Epaisseur initiale (μm)	Epaisseur enlevée côté interne S1 (μm)	Epaisseur enlevée côté externe S2 (μm)
WBT-138	Email	1	883 ± 110	39 ± 5	75 ± 9
	Dentine	1			
WBT-19	Email	1	1250 ± 156	38 ± 5	135 ± 17
	Dentine	1			
WBT-22-1	Email	1	1209 ± 151	70 ± 9	84 ± 11
	Dentine	1			
WBT-22-2	Email	1	1113 ± 139	55 ± 7	39 ± 5
	Dentine	1			

* Aucun déséquilibre entre les deux éléments n'ayant été observé, les rapports ont été normalisés à 1.

Tab. 2 : Rapports $^{222}\text{Rn}/^{230}\text{Th}$ déterminés par croisement des données obtenues par MC-ICP-MS et spectrométrie gamma sur les échantillons analysés de Waziers et épaisseurs d'émail utilisées pour la datation combinée ESR/U-Th, avant et après préparation.

Tab. 2: $^{222}\text{Rn}/^{230}\text{Th}$ ratios determined by combining the data obtained by MC-ICP-MS and gamma spectrometry on the samples from Waziers and enamel thicknesses used for the combined ESR/U-series dating, before and after preparation.

Echantillon	Tissu dentaire	U (ppm)	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	Age (ka)
WBT-138	Email	0,0697 ± 0,0001	343,5 ± 11,0	1,1751 ± 0,0024	0,6869 ± 0,0026	121,1 ± 0,8
	Dentine	0,0675 ± 0,0001	13,2 ± 0,1	1,3540 ± 0,0055	0,6791 ± 0,0040	111,3 ± 2,5
WBT-19	Email	0,0356 ± 0,0002	46,1 ± 1,5	1,4671 ± 0,0171	0,5997 ± 0,0094	92,7 ± 2,4
	Dentine	0,0971 ± 0,0002	128,0 ± 1,0	1,6093 ± 0,0044	0,5474 ± 0,0024	81,0 ± 0,5
WBT-22-1	Email	0,0709 ± 0,0001	213,3 ± 8,0	1,2458 ± 0,0046	0,7753 ± 0,0041	149,8 ± 1,7
	Dentine	0,0280 ± 0,0001	16,4 ± 0,1	1,3484 ± 0,0051	0,6554 ± 0,0038	105,7 ± 2,0
WBT-22-2	Email	0,0093 ± 0,0001	29,8 ± 0,4	1,3856 ± 0,0110	0,6720 ± 0,0079	111,2 ± 2,5
	Dentine	0,0154 ± 0,0001	144,6 ± 5,5	1,5077 ± 0,0074	0,5554 ± 0,0043	83,2 ± 1,0

Tab. 3 : Données U-Th obtenues par MC-ICP-MS (Nanjing Normal University) sur les échantillons dentaires de Waziers.

Les incertitudes sont données à $\pm 2\sigma$.

Tab.3: U-series data obtained by MC-ICP-MS (Nanjing Normal University) on the dental tissues from Waziers. Uncertainties are $\pm 2\sigma$.

Couche	Echantillons	^{238}U (ppm)	^{230}Th (ppm)	40K (%)	Teneur en eau (%)
limite US4-US5	WBT-138	0,379 ± 0,085	3,249 ± 0,115	0,957 ± 0,016	27,9
US4	WBT-19, 22-1 & 22-2	0,558 ± 0,077	3,340 ± 0,107	0,942 ± 0,014	21,3

Tab. 4 : Teneurs en radioéléments et en eau des sédiments de Waziers.

Tab. 4: Radioelement and water contents of Waziers sediments.

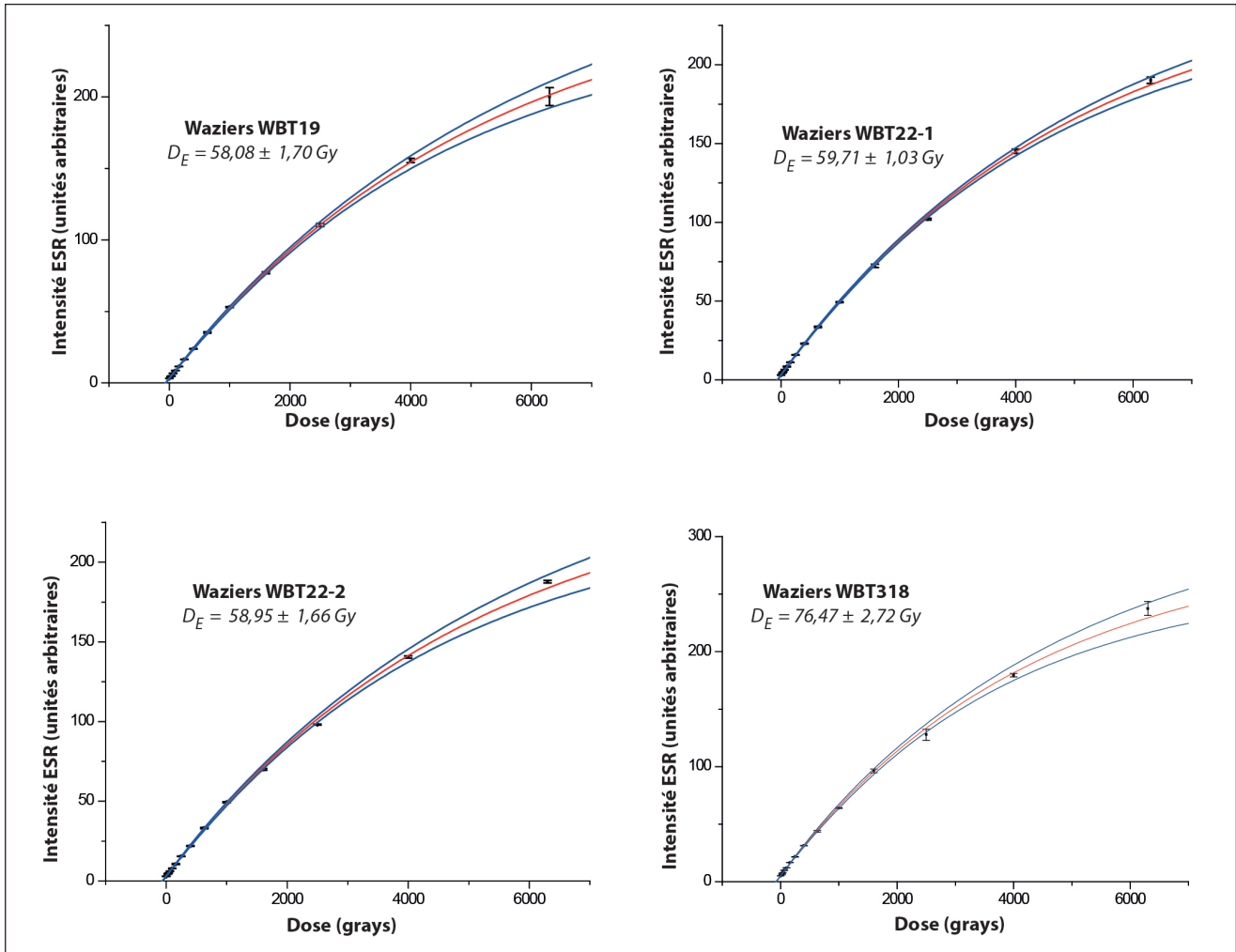


Fig. 3: Courbes de croissance ESR et paléodoses (DE) déterminées pour les dents de Waziers.

La courbe rouge correspond à l'évolution de la valeur moyenne reconstruite de l'intensité ESR pour une dose donnée, les courbes bleues correspondant au domaine de probabilité (95%) associé.

Fig. 3: ESR dose response curves and palaeodoses (DE) obtained for the teeth from Waziers.

The red line displays the mean reconstructed value evolution of the ESR intensity for a given dose and the blue lines correspond to the corresponding 95% probability range.

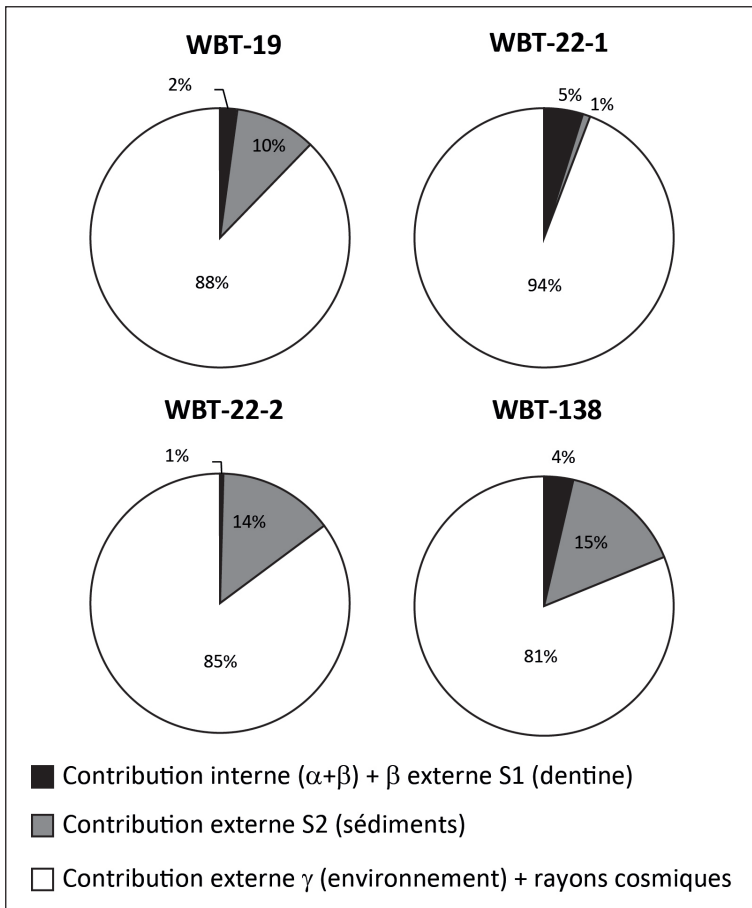


Fig. 4: Contributions des différents types de rayonnements à la dose annuelle reçue par les dents de Waziers.

Fig. 4: Contributions of the different types of radiation to the dose rate received by the teeth from Waziers.

Couche	Echantillon	Tissu dentaire	Dose équivalente (Gy)	Paramètre d'incorporation p (modèle US) ou n (modèle AU)	$D_{(\alpha+\beta)}$ interne moyenne * ($\mu\text{Gy}/\text{an}$)	D_{β} externe moyenne ($\mu\text{Gy}/\text{an}$)	$D(\gamma+\text{cosm})$ externe** ($\mu\text{Gy}/\text{an}$)	D_a moyenne ($\mu\text{Gy}/\text{an}$)	Age ESR/U-Th*** (US ou AU) (ka)
limite US4-US5	WBT-138	Email Dentine	76,47 \pm 2,72	-0,9386 \pm 0,0461 -0,9016 \pm 0,0479	20 \pm 32	89 \pm 12	470 \pm 23	579 \pm 41	132 \pm 8
US4	WBT-19	Email Dentine	58,08 \pm 1,70	-0,7551 \pm 0,0608 -0,5956 \pm 0,0711	9 \pm 22	48 \pm 9	408 \pm 20	465 \pm 33	125 \pm 8
	WBT-22-1	Email Dentine	59,71 \pm 1,03	-0,0106 \pm 0,0010 -0,8125 \pm 0,0502	21 \pm 3	4 \pm 42	408 \pm 20	433 \pm 26	138 \pm 8
	WBT-22-2	Email Dentine	58,95 \pm 1,66	-0,9384 \pm 0,0438 -0,6443 \pm 0,0608	2 \pm 20	69 \pm 10	408 \pm 20	479 \pm 30	123 \pm 7

Tab. 5: Dose équivalente, paramètres d'incorporation, contributions des différents rayonnements au débit de dose annuel et âge ESR/UTH obtenus sur les échantillons de Waziers.

Les incertitudes sont données à $\pm 2 \sigma$.

(*) un facteur k (efficacité α) de $0,13 \pm 0,02$ a été utilisé (Grün & Katzenberger-Appel, 1994).

(**) La dose gamma a été mesurée in situ avec un spectromètre gamma Canberra Inspector 1000 et la dose cosmique a été calculée à partir de la profondeur du niveau daté, en utilisant les tables de Prescott & Hutton (1994).

(***) Les erreurs sur les âges ont été calculées en utilisant une approche Monte-Carlo similaire à celle présentée par Shao *et al.* (2014).

Tab. 5: Equivalent dose, U-uptake parameters, contributions of the various types of radiations to the dose rate and ESR/U-series ages calculated for the three tooth samples from Waziers. Uncertainties are $\pm 2 \sigma$. (*) A k -factor (alpha efficiency) of 0.13 ± 0.02 was used (Grün & Katzenberger-Appel, 1994). (**) The gamma dose was measured in situ with a Canberra Inspector 1000 gamma spectrometer and the cosmic dose was calculated from the depth of the dated level, using the tables of Prescott & Hutton (1994). (***) Errors on ages were calculated using a Monte Carlo approach similar to Shao *et al.* (2014).

- Les âges apparents obtenus par U-Th sur les tissus des dents de Waziers analysées sont proches des valeurs attendues pour des échantillons de la limite Saalien-Eemien (environ 130 ka) et généralement inférieurs à celles-ci, sauf pour l'émail de la dent WBT-22-1, qui présente un âge apparent U-Th plus ancien (150 ka, tab. 3). Les cinétiques d'incorporation déterminées pour les tissus dentaires des échantillons de Waziers, présentés fig. 5, indiquent donc pour la plupart d'entre eux une incorporation assez précoce. Seul l'émail de la dent WBT-22-1 présente un lessivage, c'est-à-dire une perte d'uranium, mais ce phénomène n'a que peu d'impact sur l'âge obtenu au vu de la faible teneur en uranium de ces tissus et donc de la faible contribution à la dose reçue par l'échantillon qui en découle ;

- Les âges ESR/U-Th déterminés pour l'US4 permettent de calculer pour cette unité un âge moyen pondéré de 128 ± 20 ka ($\pm 2 \sigma$) alors que l'âge ESR/U-Th de la dent WBT-138 provenant de la limite entre US4 et US5, plus récente relativement, est de 132 ± 8 ka (fig. 6). Compte-tenu de ces âges très homogènes pour les deux unités datées, que les données paléoenvironnementales placent dans une même période tardiglaciaire, un âge moyen pondéré de 129 ± 11 ka peut être calculé à partir de ces quatre échantillons, confirmant l'attribution de ces niveaux au Tardiglaciaire saalien.

3.3 - DATATION PAR OSL DE SEDIMENTS DE L'US4

Les tableaux 6 et 7 résument les données acquises pour la détermination des doses équivalentes et des différentes contributions aux doses d'irradiation annuelles et les âges qui en sont déduits.

Ces résultats impliquent quelques remarques :

- Les doses équivalentes obtenues sont sensiblement différentes pour les deux échantillons. Les doses d'irradiation annuelles étant assez proches par ailleurs, les âges calculés sont disjoints mais ils respectent la chronologie relative donnée par la stratigraphie (fig. 6).

- Les résultats obtenus par OSL pour l'US4 placeraient donc le recouvrement du sédiment OSL1B dans l'interglaciaire eemien ($117,5 \pm 5,0$ ka, 1σ), et celui d'OSL2A au niveau de la transition entre la glaciation saalienne et l'interglaciaire eemien ($132,0 \pm 5,5$ ka, 1σ). Rappelons ici que la dose d'irradiation annuelle déterminée pour chaque échantillon ne tient peut-être pas compte d'éventuelles hétérogénéités radioactives locales. En effet, la composante gamma liée à l'environnement des échantillons a été évaluée à partir d'une mesure unique réalisée dans l'US4 mais à environ 4 m de la position des prélèvements étudiés en OSL. Les âges déterminés ici pourraient donc s'en trouver affectés si cette valeur n'était pas représentative de la dose reçue effectivement par les échantillons. Ceci devra être vérifié ultérieurement.

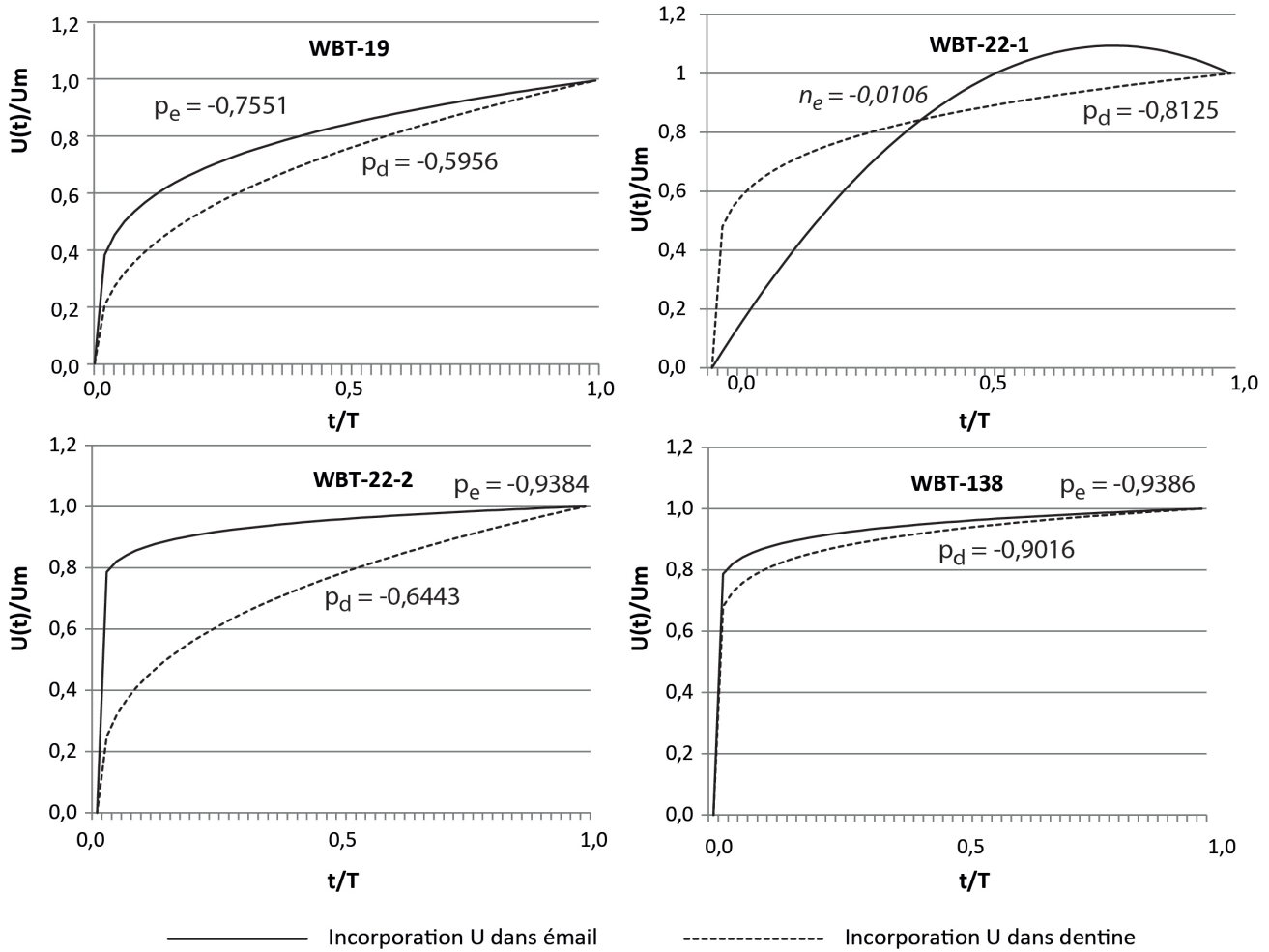


Fig. 5: Paramètres d'incorporation déterminés pour les différents tissus dentaires des échantillons analysés de Waziers.

$U(t)$ = teneur en uranium à l'instant t . U_m = teneur en uranium mesurée dans le tissu considéré. T = âge de l'échantillon.

Fig. 5: U-uptake parameters calculated for the various dental tissues of the teeth from Waziers. $U(t)$ = U content at time t . U_m = present-day U content measured in the considered tissue. T = sample age.

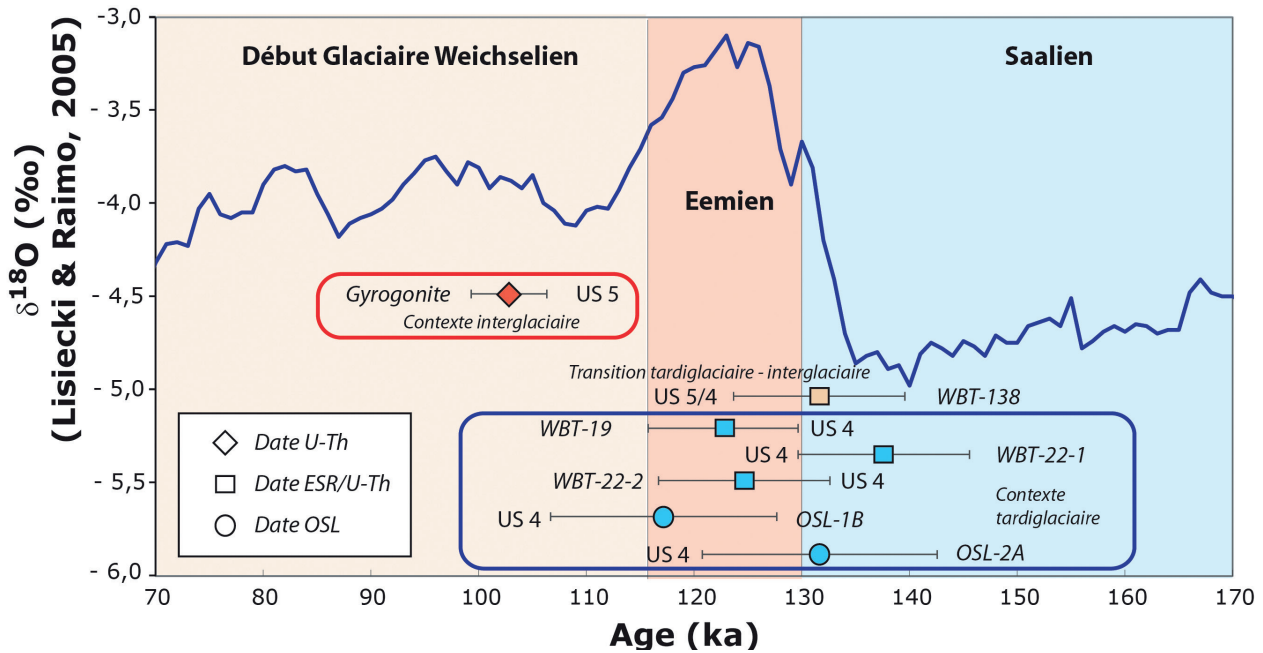


Fig. 6: Représentation graphique des âges obtenus par U-Th (carbonates), ESR/U-Th (restes paléontologiques) et OSL (sédiments) sur des échantillons provenant du site de Waziers.

Fig. 6: Overview of the age results obtained at Waziers using U-series (carbonates), ESR/U-series (palaeontological remains) and OSL (sediments) methods.

Dose équivalente mesurée pour chaque disque (Gy)	
OSL1B	OSL2A
181,0	221,2
164,9	218,0
166,9	233,7
183,1	230,1
183,2	226,8
164,9	214,0
183,4	221,3
173,3	222,4
174,1	221,7
187,2	220,3
175,8	235,0
160,5	223,5
176,5	
Doses équivalentes D_E - Moyenne des mesures (Gy)	
175,0 ± 2,3	224,0 ± 1,7

Tab.6: Doses équivalentes obtenues pour chaque disque des deux échantillons et doses équivalentes moyennes (D_E) résultantes.

L'incertitude sur la moyenne des D_E a été calculée en divisant l'écart-type par la racine du nombre de mesures n.

Tab. 6: Equivalent dose values obtained for each disk of the two samples and corresponding mean equivalent dose values (D_E). The uncertainty on the averaged D_E was calculated by dividing the standard deviation by the square root of the number of measurements n.

	Concentrations		Doses annuelles	
	Rb, U, Th (ppm), K (%)		$(\mu\text{Gy}/\text{an})$	
	OSL1B	OSL2A	OSL1B	OSL2A
U	1,8 ± 0,18	1,8 ± 0,18		
dont $^{238}\text{U}^*$	1,787 ± 0,179	1,787 ± 0,179	208 ± 14	208 ± 14
dont $^{235}\text{U}^*$	0,013 ± 0,001	0,013 ± 0,001	5 ± 1	5 ± 1
Th	5,0 ± 0,5	6,0 ± 0,6	109 ± 14	130 ± 17
K	1,08 ± 0,054	1,44 ± 0,072	558 ± 36	744 ± 47
Rb	35 ± 1	52 ± 3	13 ± 1	20 ± 2
H ₂ O**	22,5 ± 1 %		22,5 ± 1 %	
Dose annuelle bêta ($\mu\text{Gy}/\text{an}$)			893 ± 41	1 107 ± 52
Dose annuelle gamma associée – DOS1 *** ($\mu\text{Gy}/\text{an}$)			470 ± 23	
Dose annuelle cosmique ($\mu\text{Gy}/\text{an}$)			127 ± 6	120 ± 6
Dose annuelle totale ($\mu\text{Gy}/\text{an}$)			1 490 ± 48	1 697 ± 58
Age OSL (ans)			117 470 ± 5 270	132 020 ± 5 480

Tab. 7: Données OSL obtenues sur les deux échantillons de Waziers (teneur en radioéléments, teneur en eau, contributions au débit de dose annuelle et âges).

Seule la concentration globale en uranium est mesurée par ICP-MS ; nous en avons déduit les concentrations relatives en ^{238}U et ^{235}U (*) à partir des abondances isotopiques naturelles (99,28% pour ^{238}U et 0,72% pour ^{235}U). Dans ces conditions de mesure, nous ne pouvons pas tenir compte d'un éventuel déséquilibre de la chaîne de désintégration de l'uranium. Pour l'humidité des sédiments (H₂O**) nous avons adopté des mesures proches de leur saturation (22,5 ± 1 %), en accord avec les mesures effectuées sur d'autres sédiments du site lors de l'étude ESR/U-Th (cf. Tab. 4). La composante gamma retenue correspond à la mesure effectuée in situ dans le même niveau sédimentaire – US4 – mais éloignée des prélèvements étudiés en OSL (DOS1, cf. Tab. 5). Les âges sont donnés à 1σ d'incertitude.

*Tab. 7: OSL data obtained for the two sediment samples from Waziers (radioelements content, water content, dose rate components and age result) As we do not measure separately ^{235}U and ^{238}U with ICP-MS, we have used the natural relative abundance of these two uranium isotopes (0.72 % and 99.28 %, respectively). Thus, we were not able to take into account a potential disequilibrium of the uranium decay chain. The water content (H₂O**) was chosen close to the saturation (22.5 ± 1 %), in accordance with the measurements made on other sediment samples from the site for the parallel ESR/U-series study (cf. Tab. 4). The gamma component corresponds to the measurement made in situ into the same sedimentary layer – US4 – but quite far from the OSL samples (DOS1, cf. Tab. 5). Age uncertainties are ± 1 σ .*

CONCLUSION

L'analyse par U-Th de gyrogonite, par ESR/U-Th de dents et par OSL de sédiments provenant de l'US4 ou de l'US5 du site de Waziers (Nord) a permis de dater le site et les restes lithiques et paléontologiques qui y ont été recueillis. Ces deux unités sont attribuées d'après la malacofaune et les données palynologiques disponibles respectivement à une phase tardiglaciaire et à une phase interglaciaire du Pléistocène (Limondin-Lozouet, 2022; Gauthier, 2022). Les données chronologiques obtenues par U-Th TIMS et ESR/U-Th permettent donc de placer la mise en place des unités ayant livré les dents analysées (US4 et limite US4-US5) à la transition entre le Tardiglaciaire saalien (stade isotopique marin – SIM – 6) et l'Interglaciaire eemien (SIM 5e), en bon accord avec ces données paléoenvironnementales. Parallèlement, les âges établis par OSL sur deux échantillons sédimentaires provenant de l'US4 sont globalement compatibles avec ceux déterminés par ESR/U-Th, mais, les informations récoltées *in situ* n'étant pas directement associables aux prélèvements analysés, les résultats obtenus peuvent être mésestimés du fait de la méconnaissance des potentielles hétérogénéités radioactives locales. Enfin l'âge obtenu sur la gyrogonite provenant d'un niveau corrélé avec l'US5 apparaît légèrement sous-estimé, peut-être en raison de l'incorporation post-mortem d'une partie de l'uranium de cet échantillon, et doit donc pour sa part être considéré comme un âge minimum. Ce type d'échantillon ayant été peu utilisé d'un point de vue géochronologique, une confirmation de cette observation est souhaitable dans le futur.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient David HÉRISSON, Pierre ANTOINE et Patrick AUGUSTE pour leur disponibilité sur le terrain, le choix des échantillons et les discussions lors de la réalisation de cette étude. Les spectromètres ESR et gamma portable de l'UMR7194 utilisés lors de cette étude ont été acquis grâce à l'aide des régions Ile-de-France et Centre respectivement. Les auteurs remercient également chaleureusement les deux relectrices, Christelle LAHAYE et Maïlys RICHARD, pour leurs commentaires et propositions de modifications utiles et bienveillants.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BAHAIN J.-J., LAURENT M., FALGUÈRES C., VOINCHET P., FARKH S. & TISSOUX H., 2002 - Datation par résonance paramagnétique électronique (RPE) des formations fluviatiles pléistocènes et des gisements archéologiques ou paléontologiques associés. *Quaternaire*, **13**, 91-103.
- BAHAIN J.-J., YOKOYAMA Y., FALGUÈRES C. & SARCIA M.N., 1992 - ESR dating of tooth enamel: a comparison with K-Ar dating. *Quaternary Science reviews*, **11**, 245-250.
- BRENNAN B.J., RINK W.J., MCGUIRL E.L., SCHWARCZ H.P. & PRESTWICH W.V., 1997 - Beta doses in tooth enamel by "One Group" theory and the Rosy ESR dating software. *Radiation Measurements*, **27**, 307-314.
- DESCHODT L., ANTOINE P., JAMET G., PETITE Y., HÉRISSON D., COUTARD S. & LIMONIN-LOZOUET N., 2022 - Waziers (Plaine de la Scarpe, Nord de la France): synthèse lithostratigraphique des observations effectuées de 2011 à 2015. *Quaternaire*, **33** (4).
- DULLER G.A.T., 1994 - Luminescence dating of sediments using single aliquots: new procedures. *Quaternary Geochronology (Quaternary Science Reviews)*, **13**, 149-156.
- GAUTHIER A., 2022 - Dynamique de la végétation et changements environnementaux en réponse aux variations climatiques de la fin du Saalien à l'Eemien: résultats de l'analyse palynologique. *Quaternaire*, **33** (4).
- GEYH M.A., 2008 - $^{230}\text{Th}/\text{U}$ dating of interglacial and interstadial fen peat and lignite: Potential and limits. *E&G Quaternary Science Journal*, **57/1-2**, 77-94.
- GHALEB B. & FALGUÈRES C., 2017 - Apport des méthodes basées sur le déséquilibre radioactif (^{238}U - ^{234}U - ^{230}Th - ^{226}Ra - ^{210}Pb) aux études des variations et changements climatiques. *L'Anthropologie*, **121**, 73-81.
- GRÜN R. & KATZENBERGER-APEL O., 1994 - An alpha irradiator for ESR dating. *Ancient TL*, **12**, 35-38.
- GRÜN R., 1989 - Electron spin resonance (ESR) dating. *Quaternary International*, **1**, 65-109.
- GRÜN R., SCHWARCZ H.P. & CHADAM J.M., 1988 - ESR dating of tooth enamel: coupled correction for U-uptake and U-series disequilibrium. *Nuclear Tracks and Radiation Measurements*, **14**, 237-241.
- GUÉRIN G., MERCIER N. & ADAMIEC G., 2011 - Dose-rate conversion factors: update. *Ancient TL*, **29**, 5-8.
- HÉRISSON D., DESCHODT L., ANTOINE P., LOCHT J.-L., LACROIX S., SERGENT A., PETITE Y., VALLIN L., RORIVE S. & SIMON F., 2022 - Waziers, Le Bas-Terroir: historique de dix années de recherches archéologiques et géomorphologiques dans un marais pléistocène de la plaine de la Scarpe (2011-2021). *Quaternaire*, **33** (4).
- HILLAIRE-MARCEL C., GARIEPY C., GOY J.-L., ZAZO C., BARCELO J.C., 1996 - U-series measurements in Tyrrhenian deposits from Mallorca — Further evidence for two last-interglacial high sea levels in the Balearic Islands. *Quaternary Science Reviews*, **15** (1), 53-62.
- HUNTLEY D.J., GODFREY-SMITH D.I., THEWALT M.L.W., 1985 - Optical dating of sediments. *Nature*, **313**, 105-107.
- LIMONDIN-LOZOUET N., 2022 - Waziers (Plaine de la Scarpe, Nord de la France): données malacologiques. *Quaternaire*, **33** (4).
- LISIECKI, L.E., RAYMO, M.E., 2005 - A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records. *Paleoceanography* **20**, PA 1003, doi:10.1029/2004PA001071
- MARÉCHAL C., LÉCUYER C., AMIOT R., FOUREL F., ANTOINE P., AUGUSTE P., DESCHODT L. & HÉRISSON D., 2022 - Waziers (France): les isotopes de l'oxygène des dents de grands mammifères pour reconstruire les paléotempératures de l'avant-dernière transition glaciaire/interglaciaire (SIM 6/5), sous presse. *Quaternaire*, **33** (4).
- MURRAY A.S. & WINTLE A.G., 2000. Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. *Radiation Measurements*, **32**, 57-73.
- PRESCOTT J.R. & HUTTON J.T., 1994 - Cosmic ray contributions to dose rates for luminescence and ESR dating: large depths and long-term time variations. *Radiation Measurements*, **23**, 497-500.
- SHAO Q., BAHAIN J.-J., DOLO J.-M. & FALGUÈRES C., 2014 - Monte Carlo approach to calculate US-ESR ages and their uncertainties. *Quaternary Geochronology*, **22**, 99-106.
- SHAO Q., BAHAIN J.-J., FALGUÈRES C., DOLO J.-M. & GARCIA T., 2012 - A new U-uptake model for combined ESR/U-series dating of tooth enamel. *Quaternary Geochronology*, **10**, 406-411.
- SHAO Q., BAHAIN J.-J., WANG W., JIN C., WANG Y., VOINCHET P. & LIN M., 2015 - Combined ESR and U-series dating of early Pleistocene *Gigantopithecus* faunas at Mohui and Sanhe Caves, Guangxi, southern China. *Quaternary Geochronology*, **30**, 524-528.
- VARTANIAN E., 1999 - *Datation des archéomatériaux par luminescence stimulée thermiquement et optiquement: TL et OSL de silicates ou de carbonates*. Thèse de doctorat en Physique des Archéomatériaux, Université Bordeaux 3, 364p.
- WAAS D., KLEINMANN A. & LEPPER J., 2011 - Uranium-series dating of fen peat horizons from pit Nachtigall in northern Germany. *Quaternary International*, **241**, 111-124.
- WINTLE A.G., 2008 - Fifty years of luminescence dating. *Archaeometry*, **50**, 276-312.

DYNAMIQUE DE LA VÉGÉTATION ET CHANGEMENTS CLIMATIQUES À LA TRANSITION SAALIEN - EEMIEN À WAZIERS, NORD DE LA FRANCE. RÉSULTATS DE L'ANALYSE PALYNOLOGIQUE.



Agnès GAUTHIER¹

RÉSUMÉ

De par la rareté des témoins sédimentaires de l'interglaciaire Eemien dans le nord de la France, l'importante séquence alluviale limono-tourbeuse du gisement paléolithique de Waziers représente une archive sédimentaire exceptionnelle pour les reconstitutions paléoenvironnementales couvrant la période depuis la fin du Saalien à l'Eemien. L'enregistrement pollinique obtenu à partir de deux séquences (Log 6 et SC5) permet de documenter les changements environnementaux à l'échelle régionale et locale. La dynamique régionale illustre la succession classique de végétation observée lors des transitions glaciaire-interglaciaire (tundra-steppe - prairie steppique – forêt d'arbres pionniers) et se caractérise par le développement typique de forêts caducifoliées thermophiles dont la dynamique est associée à l'Eemien en Europe du nord (*Ulmus*, *Quercus*, *Corylus* enfin *Carpinus betulus* comme arbres dominants). En parallèle, le site évolue depuis une prairie humide à Cyperaceae vers une tourbière et finalement vers une forêt marécageuse à *Alnus*.

Mots-clés : analyse pollinique - Eemien - Saalien - Néandertal - végétation - nord de la France

ABSTRACT

VEGETATION DYNAMICS AND CLIMATIC CHANGES AT THE SAALIAN – EEMIAN TRANSITION IN WAZIERS, NORTHERN FRANCE. RESULTS OF PALYNOLOGICAL ANALYSIS.

Due to the scarcity of sedimentary models of the Eemian interglacial in northern France, the thick silty-peat alluvial sequence of the Paleolithic site of Waziers represents an exceptional sedimentary archive for paleoenvironmental reconstructions, covering the period from the Late Saalian to the Eemian. The pollen record obtained from two sections (Log 6 and SC5) allows to document local and regional environmental changes. The regional vegetation dynamic illustrate the classic succession observed during glacial-interglacial transitions (tundra-steppe - steppe grassland - forest of pioneer trees) and is characterized by the typical development of thermophytic deciduous woodlands associated with the Eemian. in northern Europe (succession of *Ulmus*, *Quercus*, *Corylus* and finally *Carpinus betulus* as dominant trees). Locally, the site progresses from a wet meadow with Cyperaceae to a peat bog and finally to an *Alnus* swamp forest.

Keywords: pollen analysis - Eemian - Saalian - Neanderthal - vegetation - Northern France

1 - INTRODUCTION

Les longues séquences polliniques continues continentales européennes représentent une référence régionale pour étudier l'impact du changement climatique sur la dynamique passée de la végétation et l'évolution des écosystèmes continentaux au cours des cycles glaciaires-interglaciaires du Pléistocène. De telles séquences sont disponibles dans de nombreuses régions biogéographiques d'Europe. Cependant, en Europe du Nord-Ouest, celles présentant un enregistrement complet et précis du dernier interglaciaire Eemien sont plus rares (Tzedakis, 2007; Felde, 2020). Par ailleurs, plusieurs gisements archéologiques témoignent d'occupations

humaines au cours de l'Eemien en Europe mais sont principalement localisés en Europe centrale (Pop & Bakels, 2015). Ainsi, avant la découverte du site de Waziers, Caours était le seul témoin d'une occupation humaine contemporaine du dernier interglaciaire pour la France septentrionale (Antoine *et al.*, 2006). La séquence de Waziers offre donc une opportunité 1) de reconstituer avec une résolution temporelle précise les conditions environnementales dans le nord de la France entre la fin du Saalien et l'optimum thermique du dernier interglaciaire et 2) de documenter les adaptations néandertaliennes aux environnements interglaciaires.

¹ Laboratoire de Géographie Physique: Environnements Quaternaires et Actuels - UMR 8591 CNRS - Universités Paris 1 Panthéon Sorbonne et UPEC - 2 rue Henri Dunant - FR-94320 THIAIS. Courriel: agnes.gauthier@lgp.cnrs.fr

2 - MATÉRIEL ET MÉTHODES

L'étude palynologique a été menée sur des alluvions (membres stratigraphiques 1 et 2) du paléocours de la rivière Scarpe-Scarbus scellées par des dépôts fluviéoliens (membre stratigraphique 3, Deschodt *et al.*, 2022, ce volume). Les principaux résultats présentés proviennent de deux séquences complémentaires de la série alluviale et distantes d'environ 300 m (fig. 1). La première séquence sédimentaire dénommée Log 6 est celle observée sur coupe lors de la fouille de 2014. Elle concerne le membre stratigraphique 1 (150 cm de limons gris correspondant aux US4a à US4c) surmonté de la base

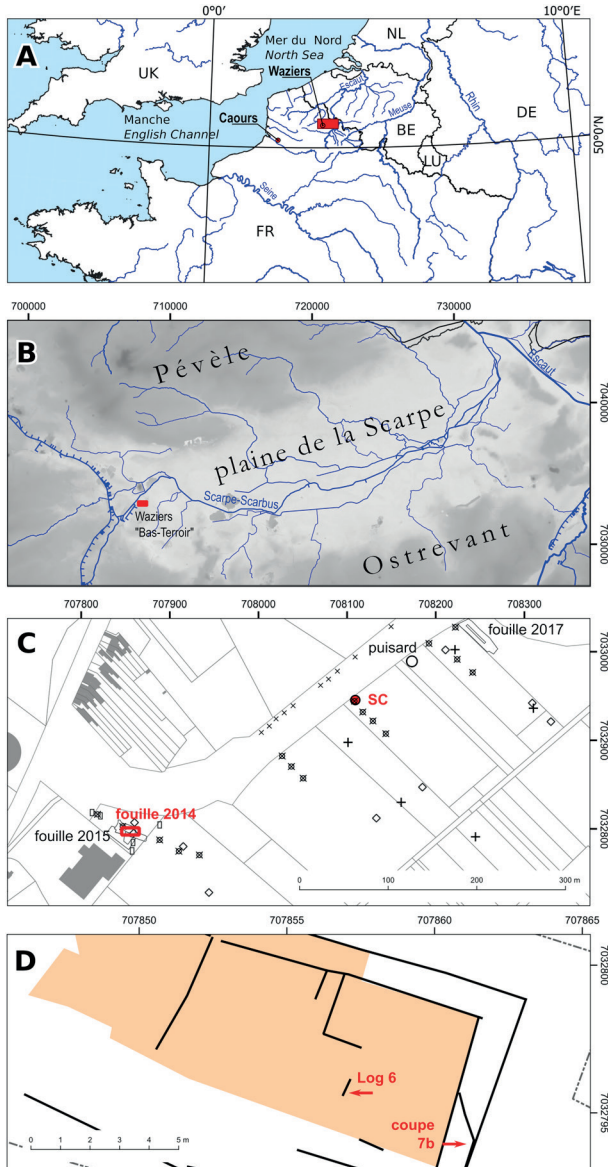


Fig. 1 : Localisation des séquences palynologiques.

(A) Localisation de la plaine de la Scarpe en Europe du nord-ouest. Coordonnées UTM. (B) Localisation du gisement de Waziers dans la plaine de la Scarpe. Coordonnées en mètres Lambert 93. (C) Localisation des séquences étudiées: sondage carotté SC et fouille 2014. (D) Localisation des prélèvements Log 6 et Coupe 7b sur la fouille de 2014 (aplats colorés = zone fouillée en 2014).

Fig. 1: Location of the palynological sequences. (A) Location of the Scarpe Plain in north-western Europe. UTM coordinates. (B) Location of the Waziers deposit in the Scarpe plain. Coordinates in metres Lambert 93. (C) Location of the sequences studied: SC core sample and 2014 excavation. (D) Location of the Log 6 and cross-section 7b sequences from the 2014 excavation (coloured area = 2014 digged area).

du membre stratigraphique 2 (30 cm de limons bruns et tourbe correspondant à l'US5a et à la base de l'US5b) (fig. 2). La seconde séquence sédimentaire dénommée SC5 correspond à celle obtenue dans le tube 5 du sondage carotté SC effectué en 2013. Elle concerne le membre stratigraphique 2 (15 cm de limons gris correspondant à la partie supérieure de l'US5a surmontés de 80 cm de tourbe correspondant aux US5b à US5e) (fig. 2). Des résultats complémentaires proviennent d'une troisième séquence sédimentaire. Dénommée Coupe 7b, elle a été observée sur coupe lors de la fouille de 2014. Elle concerne le membre stratigraphique 2 (30 cm de tourbe correspondant à la partie supérieure de l'US5b à la base de l'US5e) (fig. 2). Dans ce dernier cas, la finalité de l'étude était de positionner les unités US5b à US5e observées sur la Coupe 7b au sein des palynozones préalablement définies sur la séquence SC5.

Quarante-neuf échantillons ont été sélectionnés sur les séquences Log 6 et SC5 avec une maille d'échantillonnage autour de 8 cm pour les limons gris et entre 2 et 5 cm pour les limons bruns organiques et la tourbe. Pour l'étude complémentaire de la séquence Coupe 7b, seuls quatre échantillons ont été sélectionnés en fonction de leur position stratigraphique dans les unités US5b à US5e avec une maille d'échantillonnage entre 4 à 19 cm (fig. 2). L'extraction des palynomorphes a été réalisée à partir de 1 à 6 g de sédiment en suivant le protocole palynologique standard incluant un tamisage à 200 μm et un traitement chimique (HF, HCl, KOH, acétolyse). Le résidu a été dilué dans le glycérol avant le montage des lames microscopiques. Les pollens, les spores et les microfossiles non polliniques (MNP) ont été comptés et identifiés respectivement à l'aide des objectifs à immersion x25 ou x50 et x100. Les déterminations polliniques ont été réalisées en utilisant des clés de déterminations, des atlas polliniques (Moore *et al.*, 1991 ; Reille, 1992, 1995, 1998 ; Beug, 2004) et la collection de référence du Laboratoire de Géographie Physique. L'identification des microfossiles non polliniques a été principalement effectuée à l'aide des articles de van Geel (1978, 2001), van Geel and Aptroot (2006) et de Gelorini (2011).

Les comptages ont été menés jusqu'à l'obtention d'une somme pollinique (spores et MNP exclus) d'au moins 300 grains (dont 150 en dehors du taxon dominant) et de 18 taxons polliniques. Pour les 49 échantillons du Log 6 et du SC5, la moyenne de la somme pollinique est de 402 grains et la moyenne du nombre de taxons polliniques est de 26. Les pourcentages ont été calculés à partir de la somme pollinique excluant les grains indéterminables, les spores et les MNP. Les pourcentages des spores et des MNP ont été calculés en les incluant dans la somme pollinique. Les concentrations polliniques ont été calculées selon une méthode volumétrique (Cour, 1974). Les diagrammes polliniques SC5 (Gauthier, in Hérisson *et al.*, 2016) et Log 6 (Gauthier, in Hérisson *et al.*, 2017) ont été construits en utilisant le programme Psimpoll (Bennett, <http://www.chrono.qub.ac.uk/psimpoll/psimpoll.html>). Ils ont été divisés en zones polliniques sur la base de la définition de Gordon & Birks (1972) et

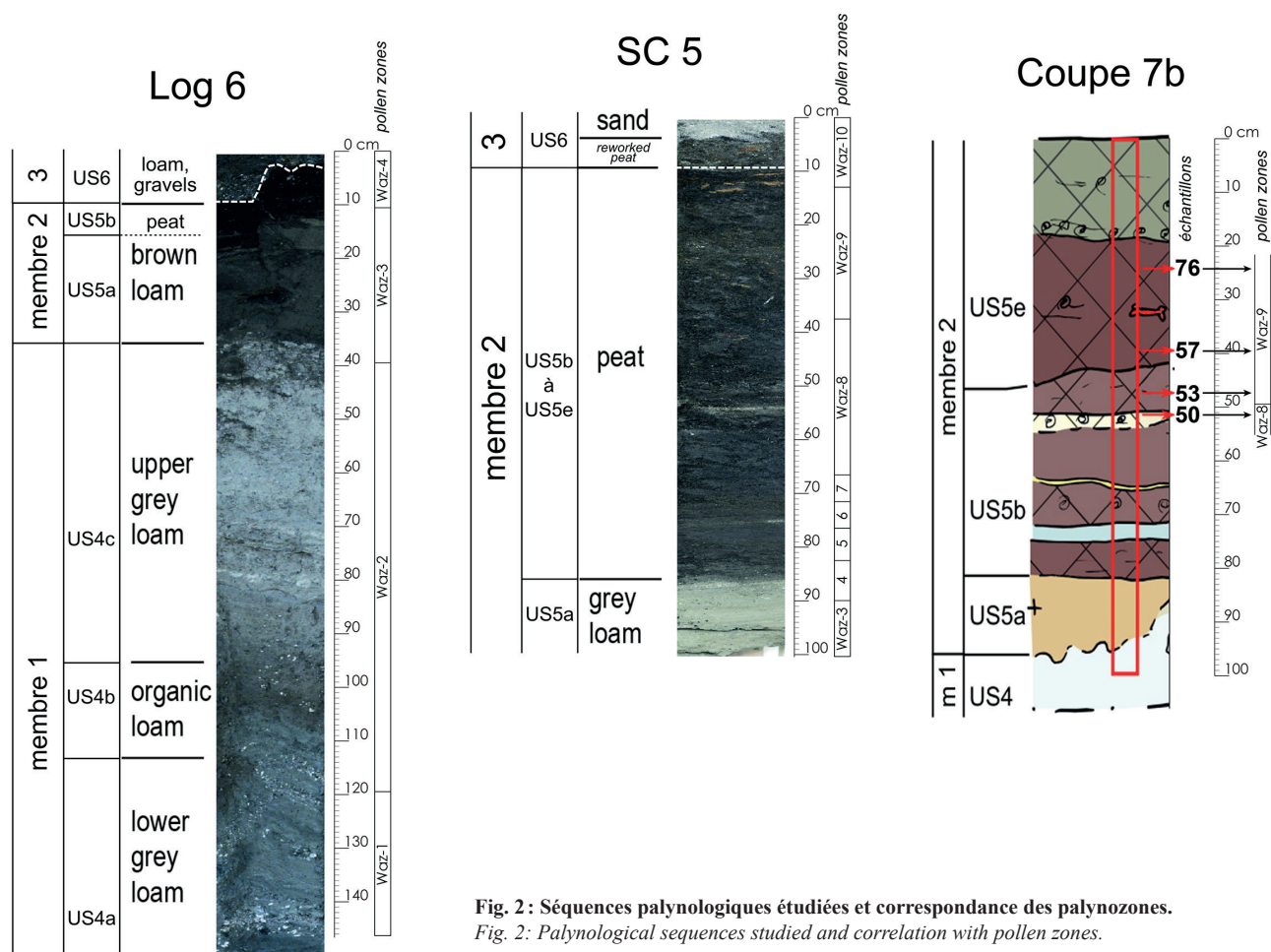


Fig. 2 : Séquences palynologiques étudiées et correspondance des palynozones.
 Fig. 2: Palynological sequences studied and correlation with pollen zones.

de Birks & Birks (1980). L'analyse comparée des zones polliniques des deux diagrammes a permis d'effectuer leurs correspondances et de proposer 10 zones locales de végétation. Un diagramme simplifié comprenant des taxons sélectionnés est présenté dans la figure 3. Les résultats complémentaires de la Coupe 7b sont présentés dans le tableau 1.

3 - RÉSULTATS

3.1 - SÉQUENCES SÉDIMENTAIRES DES LOG 6 ET SC5

La diversité des taxons polliniques est relativement constante. Toutefois, à partir de la zone Waz-4 (fig. 3), le nombre de taxons herbacés décroît progressivement (de 19-25 à 10-20) puis se stabilise à partir de la zone Waz-8 (9-16). Par ailleurs, à partir de la zone Waz-6, le nombre de taxons arborés augmente régulièrement (de 4-10 à 7-18).

Les concentrations sporo-polliniques faibles dans les limons de base des unités US4a à US4c (moyenne de 10983 grains/g) augmentent à partir des limons organiques de l'unité US5a (zone Waz-3) puis plus brutalement dans les niveaux de tourbe, à partir de la zone Waz-5 (moyenne de 369009 grains/g). A partir de

la zone Waz-7, les concentrations du pollen arboréen deviennent supérieures à celles du pollen herbacé.

La première zone pollinique Waz-1 se caractérise par l'importance et la grande diversité des herbacées dont les mieux représentées sont les Cyperaceae (21-29 %), les Poaceae (8-19 %), *Artemisia* (3-8 %), les Apiaceae (1-7 %), les Ranunculaceae (2-7 %), les Brassicaceae (2-3 %) et *Polygonum aviculare-t.* (2-4 %). L'autre point remarquable est l'importance des grains indéterminables (5-6%) en raison de leur mauvaise conservation, des grains «remaniés» anté-quaternaires (6-9 %) et des kystes de dinoflagellés (22-56 %). De plus, la concentration sporo-pollinique est faible (3504-6027 grains/g de sédiment). *Pinus* montre des fréquences fluctuant autour de 20 %; il est associé à *Juniperus* (4-7 %), *Salix* (0,3-2 %), *Betula* (0,3-3 %) et *Populus* (1 %).

Dans la zone pollinique Waz-2, les concentrations sporo-polliniques augmentent légèrement (7401-42842 grains/g de sédiment) tandis que les taux des taxons remaniés (3-0 %) et des kystes de dinoflagellés (9-0 %) diminuent fortement. Cette zone se caractérise également par l'augmentation des fréquences des Cyperaceae (32-53 %) et d'*Artemisia* (7-13 %) et par le maintien des valeurs des Poaceae autour de 15 %. Des notations régulières d'*Ephedra distachya-t.*, de *Chenopodiaceae-t.* et d'*Helianthemum* sont enregistrées. Les herbacées telles que Apiaceae, Cichorioideae, Brassicaceae, *Polygonum*

Echantillon Profondeur	n°76 75-76 cm		n°57 56-57 cm		n°53 52-53 cm		n°50 48-49 cm	
	nbre	%	nbre	%	nbre	%	nbre	%
TAXONS								
<i>Juniperus</i>							4	0,72
<i>Picea</i>					1	0,19		
<i>Pinus</i>	60	11,07	42	11,86	66	12,77	164	29,44
<i>Acer</i>	2	0,37			2	0,39		
<i>Hedera</i>	7	1,29			6	1,16		
<i>Alnus</i>	2	0,37						
<i>Betula</i>	5	0,92	6	1,69	8	1,55	8	1,44
<i>Corylus</i>	94	17,34	124	35,03	81	15,67		
<i>Quercus caducifoliee</i> -type	170	31,37	49	13,84	97	18,76	35	6,28
<i>Viscum</i>					1	0,19		
<i>Myrica</i>					4	0,77		
<i>Fraxinus excelsior</i> -type	6	1,11	1	0,28	2	0,39		
<i>Rhamnus</i>							1	0,18
<i>Salix</i>	2	0,37					2	0,36
<i>Ulmus</i>	76	14,02	41	11,58	74	14,31	105	18,85
<i>Vitis</i>	1	0,18						
A.P.	425	78,41	263	74,29	342	66,15	319	57,27
APIACEAE	1	0,18	2	0,57	1	0,19		
ASTEROIDEAE	1	0,18						
<i>Artemisia</i>	1	0,18			1	0,19	2	0,36
<i>Cirsium</i> -type							1	0,18
CICHORIODEAE							1	0,18
BRASSICACEAE			1	0,28	1	0,19		
CYPERACEAE	65	11,99	53	14,97	96	18,57	135	24,24
<i>Cladium</i>	2	0,37	4	1,13	13	2,51	9	1,62
ERICACEAE	1	0,18	1	0,28			1	0,18
FABACEAE					1	0,19	2	0,36
GENTIANACEAE	1	0,18			1	0,19		
<i>Myriophyllum verticillatum</i> -type			2	0,57				
LAMIACEAE <i>Mentha</i> -type			1	0,28				
<i>Lemna</i>							2	0,36
POACEAE	26	4,80	15	4,24	44	8,51	72	12,93
<i>Polygonum</i>					1	0,19		
<i>Rumex</i>							2	0,36
<i>Potamogeton</i>					1	0,19		
RANUNCULACEAE	6	1,11	5	1,41	6	1,16	5	0,9
<i>Thalictrum</i>					2	0,39		
ROSACEAE	2	0,37	2	0,57	2	0,39	1	0,18
<i>Sparganium-Typha</i> -type	5	0,92	2	0,57	3	0,58	4	0,72
<i>Typha latifolia</i>	3	0,55	3	0,85	2	0,39	1	0,18
URTICACEAE	3	0,55						
N.A.P.	117	21,59	91	25,71	175	33,85	238	42,73
MONOLETES LISSES	241	30,58	400	52,56	830	61,44	84	13,01
TRILETES LISSES					1	0,07		
<i>Equisetum</i>							2	0,31
PTERIDOPHYTES	241	30,58	400	52,56	831	61,51	86	13,31
INDETERMINABLES	5	0,63	7	0,92	3	0,22	3	0,46
VARIA	5	0,63	7	0,92	3	0,22	3	0,46
Pollinies CYPERACEAE			1	0,13			2	0,31
SOMME DE BASE	542		354		517		557	
NOMBRE TOTAL	788		761		1351		646	
NOMBRE DE TAXONS POLLINIQUES	24		18		26		21	
CONCENTRATION SPORO-POLLINIQUE	409138		104247		45205		278089	

Tab. 1 : Résultats palynologiques des quatre échantillons de la Coupe 7b (2014).

Tab. 1: Palynological results of the four samples from the cross-section 7b (2014).

aviculare-t., Ranunculaceae ont des taux moins élevés (1-2 %). Les valeurs de *Pinus* (6-11 %) et de *Juniperus* (2-6 %) diminuent tandis que celles de *Betula* (1-6 %) et *Salix* (0.3-9 %) augmentent légèrement.

La zone pollinique Waz-3 se marque par de profonds changements. Le passage au limon organique (US5a) correspond à une augmentation des concentrations polliniques (34271-117333 grains/g de sédiment) concomitante de la quasi-disparition des grains indéterminables ou remaniés et des kystes de dinoflagellés. Ce changement s'accompagne d'une modification dans la composition des spectres polliniques. Les valeurs des Cyperaceae diminuent fortement (16-9 %) alors que les fréquences de *Myriophyllum verticillatum*-t. atteignent un maximum (11-27 %), celles de *Sparganium-Typha*-t. augmentent rapidement (1-21 %) alors que les valeurs de *Typha latifolia* se maintiennent (0,2-5 %). D'autres herbacées aquatiques sont présentes comme *Lemna*, *Menyanthes*, *Nymphaea*, *Potamogeton* (non présentées dans le diagramme simplifié, fig. 3) ainsi que des algues comme *Spirogyra*, *Botryococcus* et des Characeae). Les autres herbacées dominantes sont les Poaceae (14-25 %) et les taux des Apiaceae (2-3 %) et des Urticaceae (0.4-1 %) montrent une légère augmentation. Les valeurs d'*Artemisia* restent globalement stables (8-15 %) et *Thalictrum* est régulièrement enregistré (0.3-3 %). *Ephedra distachya*-t., les Chenopodiaceae-t. et *Helianthemum* montrent des occurrences régulières. Les taux de *Pinus* (5-2 %), *Juniperus* (5-2 %) et de *Salix* (2-0.2 %) diminuent légèrement alors que les pourcentages de *Betula* augmentent graduellement (8-17 %). *Populus* est régulièrement noté.

Un pic de *Sparganium-Typha*-t. est enregistré dans la zone pollinique Waz-4 alors que les Cyperaceae (3-4 %) et *Myriophyllum verticillatum*-t. (4-0.7 %) ont des valeurs minimales. Les Poaceae (28-16 %) se maintiennent à leurs taux précédents et les Apiaceae (2-8 %) ainsi que les spores de Ptéridophytes (Monolètes) (1-10 %) montrent des valeurs croissantes. Les fréquences d'*Artemisia* (4-2 %) sont en baisse et les autres herbacées steppiques/héliophiles (*Ephedra distachya*-t., Chenopodiaceae-t., *Helianthemum* et *Thalictrum*) ne sont plus enregistrées. *Betula* (10-4 %), *Pinus* (5-2 %), *Juniperus* (2-0.2 %) et *Salix* (1-0 %) montrent des valeurs en baisse.

Dans la zone pollinique Waz-5, les valeurs des herbacées aquatiques chutent brutalement et les algues ne sont plus enregistrées. Les pourcentages des Poaceae augmentent fortement (66-72 %) de même que ceux des Monolètes (28-57 %) tandis que les taux d'*Artemisia* baissent fortement (3-0.5 %). *Betula* se maintient à des taux minimum (2-4 %) tandis que *Pinus* montrent des valeurs augmentant légèrement (4-15 %) et que les premières notations d'*Ulmus*, de *Quercus caducifolié*-t. et de *Corylus* sont signalées.

Un pic de *Sphagnum* (49-83 %) est enregistré dans la zone pollinique Waz-6. A l'inverse, les taux de Poaceae baissent fortement (52-23 %). *Pinus* reste à ses valeurs précédentes tandis que *Betula* et *Ulmus* montrent des taux en forte progression (respectivement 7-30 % et 20-22 %).

La zone pollinique Waz-7 correspond aux valeurs maximales d'*Ulmus* (47-59 %), à la légère diminution des valeurs de *Betula* (17-12 %), à la présence régulière de *Quercus caducifolié*-t. et de *Corylus*. Les pourcentages de Poaceae diminuent fortement (11-4 %) et les herbacées des milieux humides sont faiblement représentées sauf les Cyperaceae. *Sphagnum* montre des taux autour de 1 %.

Dans la zone pollinique Waz-8, *Quercus caducifolié*-t. atteint ses valeurs maximales (36-58 %). Cette forte hausse s'accompagne de la présence d'*Hedera* (1-4 %), de *Corylus* (0-9 %), de *Fraxinus excelsior*-t. (0-2 %) et de notations plus ou moins régulières de *Taxus* et d'*Alnus*. Les fréquences d'*Ulmus* et de *Betula* baissent (respectivement 26-9 % et 3-0 %) tandis que celles de *Pinus* restent globalement constantes (21-5 %). Les herbacées les mieux représentées sont les Poaceae (1-11 %) et les Cyperaceae (12-3 %). Les spores de Ptéridophytes montrent une très forte augmentation (30-80 %) et les Ascomycètes *Meliola*-t. (UG-1113) et *Tetraploa aristata* (HdV-89) sont uniquement présentes dans cette zone avec des valeurs relativement importantes (0-28 %).

La zone pollinique Waz-9 se caractérise par une hausse importante des pourcentages de *Corylus* (33-59 %) et dans une moindre mesure de celle des taux de *Alnus* (0.5-17 %) et *Taxus* (0-2 %). Les taux de *Quercus caducifolié*-t. (27-10 %), *Ulmus* (12-4 %) et de *Pinus* (4-1 %) baissent fortement. Les Poaceae et Cyperaceae avec des valeurs identiques à celles de la zone précédente sont les herbacées les mieux représentées tandis que les Ptéridophytes montrent des valeurs en forte baisse (35-4 %).

La dernière zone pollinique, Waz-10, montre le début de l'enregistrement de *Carpinus betulus*-t. avec des valeurs augmentant de 2 à 13 %, l'augmentation des fréquences d'*Alnus* (29-39 %) et la légère diminution des taux de *Corylus* (32-21 %), *Quercus caducifolié*-t. (11-5 %), *Ulmus* (8-3 %) et de *Pinus* (1 %). Des occurrences d'*Abies* et de *Picea* sont également enregistrées dans cette seule zone pollinique (non présentées dans le diagramme simplifié, fig. 3). Les Cyperaceae et les Ptéridophytes restent à leurs taux précédents tandis que les fréquences des Poaceae sont inférieures à 1 %.

3.2 - SÉQUENCE SÉDIMENTAIRE DE LA COUPE 7b

L'échantillon n°50 (fig. 2 et tab. 1) se caractérise par l'importance de *Pinus* (29 %) et d'*Ulmus* (19 %). *Quercus caducifolié* a des fréquences plus faibles (6 %). *Corylus* est absent. Les herbacées sont dominées par des Cyperaceae (24 %) et des Poaceae (13 %). Les Ptéridophytes sont essentiellement des spores monolètes lisses (13 %).

Les trois autres échantillons n°53, n°57 et n°76 présentent des assemblages similaires caractérisés par la dominance des arbres: *Pinus* (11-13 %), *Corylus* (16-35 %), *Quercus* (14-31 %) et *Ulmus* (12-14 %). D'autres taxons sont également enregistrés mais leurs

taux dépassent rarement 1 % comme *Acer*, *Hedera*, *Betula* et *Fraxinus excelsior*-t. Les herbacées sont toujours dominées par des Cyperaceae (18-12 %) et des Poaceae (8-4 %). Enfin, les spores monolètes lisses sont extrêmement abondantes (61-31 %).

Les caractéristiques polliniques des échantillons n°53, n°57 et n°76 montrent une similitude avec la base de la zone Waz-9 tandis que l'échantillon n°50 pourrait être rattaché au sommet de la zone Waz-8.

4 - DISCUSSION

4.1 - RECONSTITUTION ENVIRONNEMENTALE

La base de la séquence montre la présence de limons sableux (US4a) qui correspondent à la zone pollinique Waz-1. Les taux très élevés de taxons remaniés, de kystes de dinoflagellés et de grains de pollen indéterminables illustrent des processus d'érosion et de reprise de sédiments du substrat. Les sols minéraux instables ne semblent pas encore stabilisés par une couverture végétale continue, ce qui est souligné par des concentrations polliniques faibles. Une végétation très ouverte de type arctique avec une couverture herbacée au sol discontinue (Funder & Abrahamsen, 1988) peut être envisagée d'après les assemblages polliniques. Ce type de végétation herbacée très clairsemée pouvait être composé de Poaceae et de Cyperaceae dominantes associées à d'autres herbacées héliophiles et steppiques telles que des Asteraceae, *Artemisia*, des Chenopodiaceae, des Brassicaceae, des Caryophyllaceae, *Helianthemum* et *Polygonum aviculare*. On note la présence conjointe uniquement dans cette zone de Crassulaceae, de Plumbaginaceae et de Saxifragaceae, qui sont des plantes des régions froides adaptées aux milieux arides colonisant les éboulis (Ozenda, 1982; Fournier, 1977). La très faible productivité pollinique permet une large perception des apports lointains, notamment de *Pinus* comme en témoignent les fluctuations de sa courbe de concentration. La présence d'une végétation de type arctique est interprétée comme reflétant un climat froid et sec (Funder & Abrahamsen, 1988; Bigelow *et al.*, 2003).

Avec le passage à des limons sablo-argileux gris-brun (US4b) débute la zone pollinique Waz-2. La légère augmentation des concentrations polliniques témoigne du développement de la végétation herbacée précédemment décrite, ce qui entraîne la stabilisation des sols indiquée par la disparition des taxons remaniés et des kystes de dinoflagellés. La diminution des Brassicaceae dont beaucoup sont héliophiles (Hoek, 1997) ont dû précédemment jouer un rôle pionnier dans la fixation des sols. Ces plantes disparaissent ici avec la colonisation végétale. Ainsi, peut être envisagée la présence sur le site d'une prairie émergente plus ou moins humide à Cyperaceae tandis que la végétation régionale pourrait s'apparenter à une toundra-steppe (Kaplan *et al.*, 2003; Oswald *et al.*, 2003). Dans les habitats plus humides devait se développer une toundra plus ou moins arbustive

avec *Betula* et *Salix* et de nombreuses Cyperaceae associées à des herbacées telles que des Asteraceae, des Lamiaceae, des Ranunculaceae, *Thalictrum* et des Rosaceae. Des formations de type prairie-steppe avec une forte proportion de Poaceae accompagnées d'*Artemisia*, de Chenopodiaceae, d'*Helianthemum*, de *Rumex*, de Caryophyllaceae et de quelques arbustes dispersés comme *Juniperus*, *Hippophae* et *Ephedra*, devaient coloniser les habitats plus secs. Les conditions climatiques sont toujours très sévères mais la densification du couvert végétal herbacé permet de supposer une amélioration par rapport à la zone pollinique précédente Waz-1. Par ailleurs, on remarque très nettement sur les courbes des concentrations polliniques, un petit pic affectant *Salix*, *Betula*, Cyperaceae, Poaceae et *Artemisia*. Il pourrait correspondre à l'expression d'une courte amélioration climatique de type interstadiaire dont les effets n'auraient pas d'impact sur la diversité de la végétation mais sur la densité du couvert végétal. Appuyant cette hypothèse, on peut noter la présence d'un niveau sédimentaire plus organique au niveau de ce petit pic.

Le début de la sédimentation organique marque le passage à la zone pollinique Waz-3. Les unités sédimentaires US5a (limon organique brun) et US5b (tourbe limoneuse brune) correspondant aux zones polliniques Waz-3 et Waz-4 montrent une augmentation rapide des concentrations polliniques et la présence non négligeable de différentes algues. Cela indique un écoulement lent des eaux et la stabilisation des berges permettant le développement d'herbacées aquatiques diversifiées, dominées dans un premier temps par *Myriophyllum verticillatum* (Waz-3) puis dans un second temps par *Sparganium-Typha* (Waz-4). Un changement de la végétation régionale est également enregistré avec la disparition de la toundra et l'essor d'une prairie steppique à Poaceae et *Artemisia* dans laquelle quelques bosquets d'arbres pionniers comme *Betula*, *Pinus* et *Juniperus* commencent à se développer. La fin de l'enregistrement pollinique (Waz-4) montre une évolution vers des prairies à hautes Graminées dans lesquelles les herbacées steppiques et héliophiles ont quasiment disparu, ce qui peut suggérer des conditions climatiques moins rigoureuses (plus tempérées et moins sèches) que précédemment.

La mise en place de la tourbière s'effectue en plusieurs phases correspondant aux zones polliniques Waz-5 à Waz-7. L'arrêt de l'écoulement d'eau (disparition des algues et des herbacées aquatiques) permet dans un premier temps aux Poaceae de se développer; ensuite, le développement très important de *Sphagnum* illustre le changement vers une tourbière acide, phase relativement courte; enfin, le remplacement de *Sphagnum* par les Cyperaceae et Ptéridophytes peut indiquer l'évolution vers une tourbière de type alcaline ou tout au moins, moins acide.

Parallèlement à ce changement local, se mettent en place des boisements à *Betula* et *Pinus* (Waz-5) dans lesquels *Ulmus* se développe rapidement (Waz-6) pour ensuite devenir prédominant (Waz-7). Les taux très élevés des taxons arboréens (>80 %) témoignent du

développement d'une forêt dense à *Ulmus* dominant dans les environs du site. A partir de la zone pollinique Waz-7, l'environnement est totalement forestier et plusieurs phases forestières successives peuvent être mises en évidence. La rapide expansion de *Quercus* caducifolié au détriment d'*Ulmus* indique la présence d'une forêt dominée par *Quercus* et *Ulmus* dans laquelle *Hedera* et *Pinus* sont importants et *Corylus*, *Fraxinus excelsior* et *Alnus* commencent à se développer (Waz-8). L'essor d'une chênaie diversifiée indique un climat tempéré chaud et humide. Cette phase coïncide avec le développement de spores fongiques, indiquant probablement une dégradation de la matière organique du milieu tourbeux par les organismes saprophytes suite à une moins grande saturation en eau. Le troisième stade d'évolution forestière correspond au plein essor de *Corylus* (Waz-9). La formation forestière est diversifiée avec *Quercus* caducifolié et *Ulmus* toujours abondants et la présence de *Taxus*, *Acer*, *Viburnum* et *Quercus ilex*. L'expansion de cette forêt se faisant aux dépens de *Quercus* caducifolié, cela pourrait indiquer un changement dans la saisonnalité du climat. Parallèlement, *Alnus* commence également à se développer localement, illustrant la colonisation du milieu tourbeux par une forêt marécageuse à *Alnus*. Enfin, le début de l'expansion de *Carpinus betulus* (Waz-10) est enregistré au sommet de la séquence tourbeuse. Cette expansion semble plus préjudiciable à *Quercus* caducifolié qu'à *Corylus*.

4.2 - COMPARAISONS RÉGIONALES

La séquence pollinique enregistrée à Waziers au niveau du Log 6 et de la carotte SC5 illustre clairement la succession classique de végétations se développant durant une transition fin de phase glaciaire / début de phase interglaciaire. De plus, la dynamique des végétations forestières successives enregistrée (1) *Pinus-Betula*, (2) *Ulmus*, (3) *Quercus* caducifolié, (4) *Corylus*, (5) *Carpinus betulus* est typique de celle associée à l'Eemien en Europe du Nord (Woillard, 1978; de Beaulieu & Reille, 1984; Grüger, 1989; de Beaulieu & Reille, 1992a, b; Field *et al.*, 1994; Malkiewicz, 2002; Kühl *et al.*, 2007). Cette corrélation permet ainsi d'établir que les changements environnementaux de la base de la séquence, (1) couverture végétale herbacée rare se développant sous des conditions climatiques arctiques, (2) densification de la végétation herbacée de type toundra-steppe pouvant signaler le début de la déglaciation (début de phase tardiglaciaire), et (3) développement d'une prairie steppique plus ou moins arbustive indiquant des conditions climatiques un peu plus tempérées et moins sèches mais néanmoins rigoureuses correspondent à ceux de la fin du Saalien. La limite tardiglaciaire Saalien/interglaciaire Eemien (limite des zones polliniques Waz-4/Waz-5) correspond à l'installation de conditions climatiques fraîches-tempérées induisant la mise en place de boisements à *Pinus* et *Betula* et la disparition des marqueurs steppiques. Cette interprétation est renforcée par des données comparables obtenues en Allemagne (Kenzler *et al.*, 2018).

5 - CONCLUSION

La séquence de Waziers apporte pour le Nord de la France des informations précises sur les changements environnementaux de la fin du Saalien à l'Eemien, tant au niveau local que régional. Le début de l'enregistrement pollinique permet d'envisager pour le tardiglaciaire anté-Eemien l'installation d'une toundra-steppe (toundra dans les habitats humides et steppe dans les habitats secs) dominée par des Cypéracées, des Poacées, des Chénopodiacées et des armoises avec des arbustes clairsemés (saules, bouleaux, *Ephedra*, argousiers) suivi du développement d'une prairie de type steppique avec quelques peuplements d'arbres pionniers (bouleaux, genévriers, pins). Parallèlement, le site montre une stabilisation des berges et le développement d'une prairie humide marécageuse à Cypéracées évoluant en tourbière dominée par des Poacées. En réponse aux conditions climatiques devenant plus tempérées, l'environnement du début de l'interglaciaire montre un paysage de plus en plus boisé, pour finalement être dominé par une forêt caducifoliée thermophile très diversifiée (ormes, chênes, noisetiers dominants) tandis que localement s'installe dans un premier temps un marais alcalin dominé par des Cypéracées et d'abondantes populations de fougères, puis une forêt marécageuse à aulnes.

REMERCIEMENTS

L'auteur remercie L. Deschodt pour la réalisation de la figure 1. L'auteur souhaite remercier les relecteurs pour leurs remarques constructives qui ont permis d'améliorer le manuscrit.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANTOINE P., LIMONDIN-LOZOUET N., AUGUSTE P., LOCHT J.-L., GALHEB B., REYSS J.-L., ESCUDÉ É., CARBONEL P., MERCIER N., BAHAIN J.-J., FALGUÈRES C. & VOINCHET P., 2006 - Le tuf de Caours (Somme, France): mise en évidence d'une séquence eemienne et d'un site paléolithique associé. *Quaternaire*, 17 (4), 281-320.
- BEUG H.J., 2004 - *Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete*. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, 542 p.
- BIGELOW N., BRUBAKER L., EDWARDS M., HARRISON S., PRENTICE I.C., ANDERSON P., ANDREEV A., BARTLEIN P., CHRISTENSEN T., CRAMER W., KAPLAN J., LOZHKIN A., MATVEYEVA N., MURRAY D., MCGUIRE A.D., RAZZHIVIN V., RITCHIE J., SMITH B., WALKER D., GAJEWSKI K., WOLF V., HOLMQVIST B., IGARASHI Y., KREMENETSKII K., PAUS A., PISARIC M.F. & VOLKOVA V., 2003 - Climate change and Arctic ecosystems: 1. vegetation changes north of 55°N between the last glacial maximum, mid-Holocene, and present. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 108 (D19), 8170.
- BIRKS H.J.B. & BIRKS H.H., 1980 - *Quaternary palaeoecology*. Edward Arnold, London, 289 p.
- COUR P., 1974 - Nouvelles techniques de détection des flux et des retombées polliniques: étude de la sédimentation des pollens et des spores à la surface du sol. *Pollen et Spores*, 16 (1), 103-141.
- DE BEAULIEU J.-L. & REILLE M., 1984 - A long Upper Pleistocene pollen record from Les Echets, near Lyon, France. *Boreas*, 13, 111-132.
- DE BEAULIEU J.-L. & REILLE M., 1992a - Long Pleistocene pollen sequences from the Velay Plateau (Massif Central, France). *Vegetation History and Archaeobotany*, 1, 233-242.

- DE BEAULIEU J.-L. & REILLE M., 1992b - The last climatic cycle at La Grande Pile (Vosges, France). A new pollen profile. *Quaternary Science Reviews*, 11, 431-438.
- DESCHODT L., ANTOINE P., JAMET G., PETITE Y., HÉRISSON D., COUTARD S. & LIMONDIN-LOZOUET N., 2022 - Waziers (Plaine de la Scarpe, Nord de la France): synthèse lithostratigraphique des observations effectuées de 2011 à 2015, *Quaternaire*, 33 (4), 247-272.
- FELDE V.A., FLANTUA S.G.A., JENKS C.R., BENITO B.M., DE BEAULIEU J.-L., KUNEŠ P., MAGRI D., NALEPKA D., RISEBROBAKKEN B., TER BRAAK C.J.F., ALLEN J.R.M., GRANOSZEWSKI W., HELMENS K.F., HUNTLEY B., KONDRATIENÉ O., KALNIŃA L., KUPRYJANOWICZ M., MALKIEWICZ M., MILNER A.M., NITA M., NORYSKIEWICZ B., PIDEK I.A., REILLE M., SALONEN J.S., ŠEIRIENÉ V., WINTER H., TZEDAKIS P.C. & BIRKS H.J.B., 2020 - Compositional turnover and variation in Eemian pollen sequences in Europe. *Vegetation History and Archaeobotany*, 29, 101-109.
- FIELD M.H., HUNTLEY B. & MÜLLER H., 1994 - Eemian climate fluctuations observed in a European pollen record. *Nature*, 371, 779-783.
- FOURNIER P., 1977 - *Les quatre flores de France*. Lechevalier, Paris, Tome 1 texte, 1105 p., Tome 2 atlas, 308 p.
- FUNDER S. & ABRAHAMSEN N., 1988 - Palynology in a polar desert, eastern North Greenland. *Boreas*, 17, 195-207.
- GELORINI V., VERBEKEN A., VAN GEEL B., COCQUYT C. & VERSCHUREN D., 2011 - Modern non-pollen palynomorphs from East African lake sediments. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 164, 143-173.
- GORDON A.D. & BIRKS H.J.B., 1972 - Numerical methods in Quaternary palaeoecology. I. Zonation of pollen diagrams. *New Phytologist*, 71, 961-979.
- GRÜGER E., 1989 - Palynostratigraphy of the last interglacial/glacial cycle in Germany. *Quaternary International*, 3-4, 69-79.
- HÉRISSON D., LOCHT J.-L., VALLIN L., MASSON B., HULIN G., VIRMOUX C., DESCHODT L., ANTOINE P., JAMET G., COUTARD S., LIMONDIN-LOZOUET N., GAUTHIER A., PONEL P., BAHAIN J., TOMBRET O., GHALEB B., AUGUSTE P., SÉVÈQUE N., LEFEBVRE S., LÉCUYER C., AMIOT R., DEVIDET M., CHICAT-LEFORT T., ALI A. & POIRIER P., 2016 - *Rapport de fouille programmée Waziers «Le Bas Terroir»*. Bilan de la triennale 2014-2016. Rapport de fouille archéologique programmée, INRAP, UMR 8591 et 7194 du CNRS, Ministère de la Culture, Lille, 166 p.
- HÉRISSON D., LOCHT J.-L., VALLIN L., MASSON B., HULIN G., VIRMOUX C., DESCHODT L., ANTOINE P., COUTARD S., LIMONDIN-LOZOUET N., GAUTHIER A., PONEL P., BAHAIN J., TOMBRET O., GHALEB B., AUGUSTE P., SEVEQUE N., LEFEBVRE S., LÉCUYER C., AMIOT R., DEVIDET M., CHICAT-LEFORT T., ALI A., POIRIER P. & FIELD M., 2017 - *Rapport de fouille programmée Waziers «Le Bas Terroir»*. Première année de la triennale 2017-2019. Rapport de fouille archéologique programmée, INRAP, UMR 8591 et 7194 du CNRS, Ministère de la Culture, Lille, 241 p.
- HOEK W., 1997 - Atlas to palaeogeography of lateglacial vegetations. *Nederlandse Geografische Studies*, 231, Amsterdam, 165 p.
- KAPLAN J., BIGELOW N., PRENTICE I.C., HARRISON S., BARTLEIN P., CHRISTENSEN T., CRAMER W., MATVEYEVA N., MCGUIRE A.D., MURRAY D., RAZZHIVIN V., SMITH B., WALKER D., ANDERSON P., ANDREEV A., BRUBAKER L., EDWARDS M. & LOZHKIN A., 2003 - Climate change and Arctic ecosystems: 2. Modeling, paleodata-model comparisons, and future projections. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 108 (D19), 8171.
- KENZLER M., ROTHER H., HÜNEKE H., FRENZEL P., STRAHL J., TSUKAMOTO S., LI Y., MENG S., GALLAS J. & FRECHEN M., 2018 - A multi-proxy palaeoenvironmental and geochronological reconstruction of the Saalian-Eemian-Weichselian succession at Klein Klütz Höved, NE Germany. *Boreas*, 47, 114-136.
- KÜHL N., LITT T., SCHÖLZEL C. & HENSE A., 2007 - Eemian and Early Weichselian temperature and precipitation variability in northern Germany. *Quaternary Science Reviews*, 26, 3311-3317.
- MALKIEWICZ M., 2002 - The history of vegetation of the Eemian interglacial in the Great Polish Lowland. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 71 (4), 311-321.
- MOORE P.D., WEBB J.A. & COLLINSON M.E., 1991 - *Pollen analysis*. Blackwell Scientific Publications, 2nd edition, Oxford, 216 p.
- OSWALD W.W., BRUBAKER L., HU F.S. & GAVIN D., 2003 - Pollen-vegetation calibration for tundra communities in the Arctic Foothills, northern Alaska. *Journal of Ecology*, 91, 1022-1033.
- OZENDA P., 1982 - *Les végétaux dans la biosphère*. Doin, 431 p.
- POP E. & BAKELS C., 2015 - Semi-open environmental conditions during phases of hominin occupation at the Eemian Interglacial basin site Neumark-Nord 2 and its wider environment. *Quaternary Science Reviews*, 117, 72-81.
- REILLE M., 1992 - *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord*. Laboratoire de Botanique historique et Palynologie, Marseille, 520 p.
- REILLE M., 1995 - *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord*. Supplément 1. Laboratoire de Botanique historique et Palynologie, Marseille, 327 p.
- REILLE M., 1998 - *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord*. Supplément 2. Laboratoire de Botanique historique et Palynologie, Marseille, 521 p.
- TZEDAKIS P., 2007 - Pollen records, Last Interglacial of Europe. In S.A. Elias (ed), *Encyclopedia of Quaternary Science*. Elsevier, 2597-2605.
- VAN GEEL B., 1978 - A palaeoecological study of Holocene peat bog sections in Germany and The Netherlands. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 25, 1-120.
- VAN GEEL B., 2001 - Non pollen palynomorphs. In J.P. Smol, H.J.B. Birks & W.M. Last (eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments*, vol. 3. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 99-119.
- VAN GEEL B. & APTROOT A., 2006 - Fossil Ascomycetes in Quaternary deposits. *Nova Hedwigia*, 82 (3-4), 313-329.
- WOILLARD G., 1978 - Grande Pile peat bog: a continuous pollen record for the last 140,000 years. *Quaternary Research*, 9, 1-21.

DONNÉES MALACOLOGIQUES DU SITE EEMIEN DE WAZIERS (PLAINE DE LA SCARPE, NORD DE LA FRANCE)



Nicole LIMONDIN-LOZOUET¹

RÉSUMÉ

La succession malacologique du site de Waziers met en évidence deux phases environnementales majeures qui marquent le passage Glaciaire/Interglaciaire au cours de la terminaison 2 à l'Eemien.

La base de la séquence (US3 et US4, membre 1 de la Formation de Waziers) est caractérisée par des assemblages de malacofaunes terrestres indiquant un milieu de plaine exondée progressivement recolonisée par la végétation dans une ambiance climatique de type interstadiale. Au milieu de la phase tardiglaciaire intervient un épisode dont les faunes sont similaires à celles observées au cours du Dryas récent weichselien dans la région, elles suggèrent donc le retour ponctuel de conditions froides. Dans la deuxième partie de la séquence (US5, membre 2 de la Formation de Waziers) les malacofaunes majoritairement composées d'espèces dulci-cales indiquent l'invasion de la plaine par des habitats aquatiques. Après une première étape marquée par des assèchements saisonniers temporaires (US5a), les habitats humides deviennent pérennes, propices à la formation de tourbe et abritent des faunes caractéristiques de la végétation aquatique (US5b). Dans la tourbe supérieure (US5e) le développement du gastéropode aquatique méditerranéen *Belgrandia marginata* et l'occurrence de quelques mollusques terrestres typiques d'environnement forestiers indiquent des conditions interglaciaires bien installées.

Mots-clés : Eemien, malacofaune, paléoenvironnement, Pleistocène supérieur, Europe du Nord-Ouest

ABSTRACT

MALACOLOGICAL DATA FROM THE EEMIEN SITE AT WAZIERS (SCARPE PLAIN, NORTHERN FRANCE)

The malacological succession at Waziers highlights two major environmental phases marking the Glacial/Interglacial transition from Termination 2 to the Eemian.

The base of the sequence (US3 and US4, member 1 of the Waziers Formation) is characterized by assemblages of terrestrial malacofauna indicating a dried plain landscape progressively recolonized by vegetation in an interstadial type of climate. In the middle of the Late Glacial phase, an episode occurs whose faunas are similar to those observed during the Weichselian Younger Dryas in the region, they suggest the return of cold conditions. In the second part of the sequence (US5, member 2 of the Waziers Formation), the malacofauna is composed mainly of freshwater species pointing to the establishment of aquatic habitats. After an initial stage marked by temporary seasonal drying (US5a), the wet habitats become permanent, allowing formation of peat and hosting faunas characteristic of aquatic vegetation (US5b). In the upper peat (US5e), the development of the Mediterranean aquatic gastropod *Belgrandia marginata* and the occurrence of some terrestrial molluscs typical of forest environments indicate full interglacial conditions.

Keywords: Eemian, malacofauna, palaeoenvironment, Upper Pleistocene, NW Europe

1 - INTRODUCTION

Le gisement paléolithique de Waziers se trouve dans la plaine de la Scarpe au Nord-Ouest de Douai. Les dépôts fluviatiles sont constitués à la base de graviers grossiers sur lesquels se développe une séquence fine de sables et limons surmontée par d'épais niveaux de tourbe (Deschodt *et al.*, 2022). Quatre niveaux archéologiques ont livré une riche faune mammalienne et quelques silex taillés (Auguste *et al.*, 2022; Hérisson *et al.*, soumis). Les études pluridisciplinaires engagées depuis la découverte du site en 2011 ont permis d'attribuer la séquence à l'Eemien. Très peu d'enregistrements sédimentaires détaillés ont été recensés pour cette période dans le nord de l'Europe. Actuellement la séquence de tuf de Caours

dans la Somme est la référence la plus complète permettant la reconstitution de la dynamique environnementale et climatique du dernier interglaciaire en milieu continental (Antoine *et al.*, 2006; Dabkowski *et al.*, 2016). Elle a livré entre autres une succession malacologique particulièrement développée avec cependant un hiatus affectant le tout début de la phase tempérée (Limondin-Lozouet & Preece, 2014). La stratigraphie de Waziers laisse supposer un potentiel important sur la restitution des paléoenvironnements à la transition Saalien/Eemien susceptible de renforcer et compléter le corpus de données existant. Le présent article développe les résultats de l'approche malacologique menée à Waziers et propose une première comparaison avec les données régionales.

¹Laboratoire de Géographie Physique, UMR 8591 CNRS, Université Paris 1, UPEC – 2, rue Henri Dunant, FR-94320 THIAIS. Courriel: nicole.lozouet@lgp.cnrs.fr

2 - LOCALISATION DES ÉCHANTILLONS ET MÉTHODE

Lors des campagnes de fouilles 2014 et 2015, 68 échantillons ont été prélevés dans les différents niveaux stratigraphiques (tab. 1 et fig. 1 ; pour la position des prélèvements dans la stratigraphie d'ensemble, voir Deschodt *et al.*, 2022). Les prélèvements ont été pris en colonne continue selon un pas moyen de 10 cm, ou moins, pour s'adapter à la lithologie (coupe 2bis, 3, 7b et log 6) et de 5 cm (log 11 et coupe 14). Ils concernent toutes les unités de US3 à US6 sauf US5d (tab. 1) qui correspond au remplissage de petits chenaux et a été diagnostiquée stérile en mollusques sur le terrain. Les échantillons, d'un volume moyen de 8 L, ont été tamisés à l'eau sur une maille de 500 µm. Le tri des résidus a été effectué sur une sélection de prélèvements en fonction de la représentativité stratigraphique et de la pertinence des données environnementales enregistrées par les assemblages malacologiques. Ainsi les échantillons des formations tourbeuses (US5b et US5e) n'ont pas tous été traités en raison de la composition exclusivement aquatique des assemblages, moins sensible aux variations environnementales, et à l'extrême richesse des résidus qui aurait impliqué un coût temporel excessif au regard de l'information enregistrée. Par ailleurs les échantillons de l'unité US5c, correspondant au remplissage limoneux d'un grand chenal, se sont révélés totalement stériles. Au final l'analyse a porté sur les cortèges malacologiques de 50 prélèvements répartis sur 6 profils (tab. 1) dont 44 ont livré des assemblages permettant une interprétation environnementale.

Les successions malacologiques sont étudiées par profil. Sur chaque coupe tous les échantillons analysés font l'objet d'un recensement qualitatif et quantitatif des espèces (tab. 2). Les quantités d'individus comptés par espèce sont transformées en pourcentages et traduites graphiquement en histogrammes (figs. 2-5). L'analyse comparative de ces successions permet de définir des biozones caractérisées par l'occurrence, la disparition et / ou le développement maximal de certaines espèces.

3 - RÉSULTATS

La liste de faune obtenue à Waziers recense une quarantaine de taxons, équitablement répartis entre les domaines terrestre et aquatique (tab. 2). Dans la stratigraphie de Waziers ces deux groupes de mollusques dominent successivement les assemblages et caractérisent les deux malacozones principales : la zone 1 (WZM1) qui rassemble des populations de gastéropodes terrestres et la zone 2 (WZM2) représentée par des associations en majorité composées de mollusques d'eau douce. L'étude détaillée des profils permet de distinguer des sous-ensembles dans cette bipartition des faunes qui rend compte du passage d'un environnement local émergé à un milieu submergé. La dénomination du gastéropode aquatique *Gyraulus laevis* est maintenue ici

en dépit de la révision récente des espèces modernes de *Gyraulus* concluant à la similitude génétique de ce taxon avec *Gyraulus parvus* qui a la priorité nomenclaturale (Lorencová *et al.*, 2021). Ce choix vise à préserver de toute ambiguïté la signification paléoécologique de *G. laevis*, taxon natif d'Europe, typique des milieux calmes et reconnue comme une espèce pionnière des habitats aquatiques en phase de recolonisation par rapport à *G. parvus* d'origine nord-américaine, répandu en Europe depuis quelques siècles seulement, et caractéristique des habitats artificiels ou fortement modifiés. Les bivalves du genre *Euglesa* sont regroupés sur les histogrammes (figs. 2-5) car ils sont essentiellement représentés par trois taxons d'écologie très similaire (*E. subtruncata*, *E. nitida*, *E. milium*) qui sont classiquement associés dans les habitats d'eaux courantes des petites rivières non soumis aux assèchements temporaires (Killen *et al.*, 2004 ; Prié, 2007). Les déterminations détaillées et les comptages associés sont donnés dans la liste de faune (tab. 2).

3.1 - LA ZONE 1 À MOLLUSQUES TERRESTRES

Cette zone correspond aux ensembles limoneux US3 et US4 qui constituent la base de la séquence stratigraphique et se trouvent bien dilatés dans la partie sud du gisement de la campagne 2014 sur les profils Log 6 et Log 11 (fig. 1). Au niveau de la coupe 14 (campagne 2015) les faciès de la formation 4 comportent une partie plus organique (US4e). Les échantillons de la coupe 14 et du Log 6 ont été étudiés exhaustivement (sauf l'échantillon 13 du Log 6, perdu dans les transferts, tab. 1) pour définir en détail la succession des environnements les plus anciens (fig. 2). La zone 1 est globalement dominée par des espèces résistantes (*Pupilla muscorum*, *Trochulus hispidus*) qui forment les cortèges classiques des faunes de phase froide surtout observées en milieu loessique (Puisségur, 1976 ; Limondin-Lozouet & Gauthier, 2003 ; Moine, 2008). L'occurrence d'un cortège secondaire d'espèces écologiquement un peu plus exigeantes permet de subdiviser la zone 1 en trois sous-ensembles a, b, c.

3.1.1 - La sous-zone 1a à espèces tolérantes (*Pupilla muscorum*, *Trochulus hispidus*, *Oxyloma elegans*)

Les premiers échantillons du Log 6, de Ma1 à Ma3, sont pauvres en restes coquilliers et les espèces présentes sont signalées par un cercle sur le graphe mais leurs effectifs n'ont pas fait l'objet de calculs de pourcentages (fig. 2). Ils correspondent aux dépôts fluviaux les plus anciens (unité US3 et base de l'unité suivante US4a). À partir de Ma4 (sommet de l'unité US4a) les effectifs de la série du Log 6 se développent et croissent très rapidement jusqu'en Ma7 (US4b), exprimant une phase d'expansion importante des populations malacologiques qui caractérise la sous-zone 1a. Les faunes sont peu diversifiées et composées par des espèces à large valence écologique, telles que *Pupilla muscorum*, *Trochulus hispidus* et *Oxyloma elegans*, souvent recensées pendant

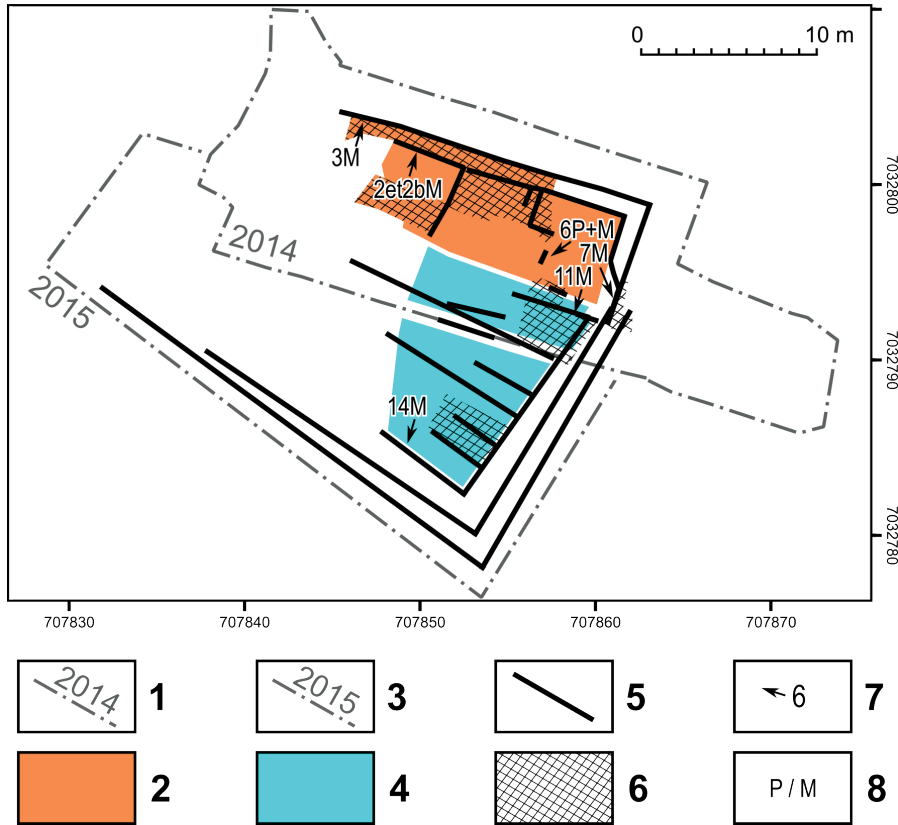
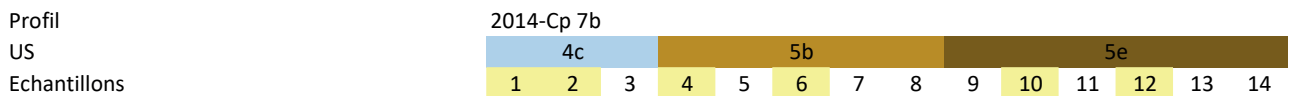
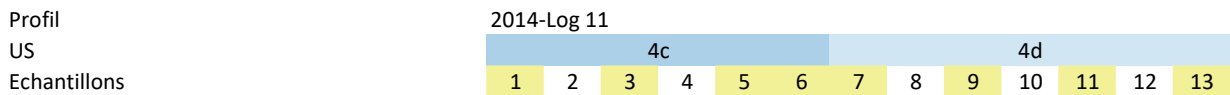
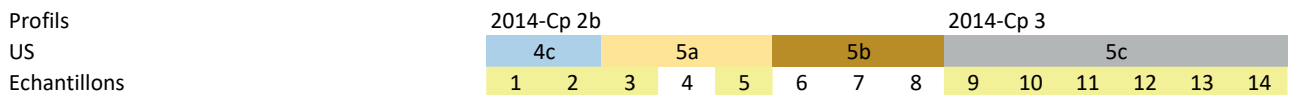
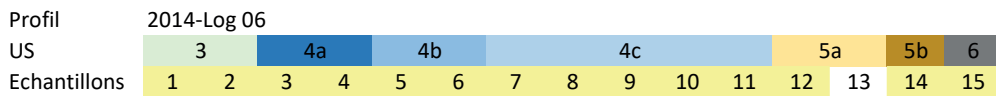
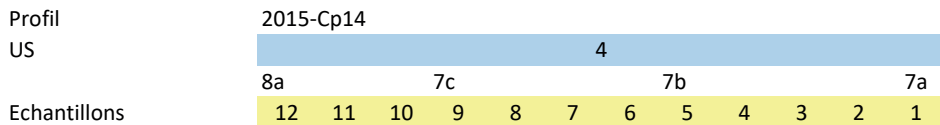


Fig. 1: Localisation des coupes, zones fouillées, prélèvements malacologiques et palynologiques lors des campagnes de fouille 2014 et 2015.

Coordonnées en mètres Lambert 93. 1/ Fouille campagne 2014, emprise au sol, 2/ Fouille campagne 2014, emprise en fond de fouille, 3/ Fouille campagne 2015, emprise au sol, 4/ Fouille campagne 2015, emprise en fond de fouille, 5/ Coupe détaillée, 6/ Zone fouillée manuellement, 7/ Localisation des profils échantillonnés, 8/ Étude palynologique (P) ou malacologique (M).

Fig. 1: Location of the cross-sections, digged areas, malacological and palynological sampling during the 2014 and 2015 digging campaigns. Lambert 93 meters survey. 1/ Campaign 2014 excavation, hold on the ground, 2/ Campaign 2014, bottom of excavation, 3/ Campaign 2015 excavation, hold on the ground, 4/ Campaign 2015, bottom of excavation, 5/ Detailed cross-section, 6/ Manually digged area, 7/ Location of sampled profiles, 8/ Palynological (P) or malacological (M) study.

WAZIERS



Tab. 1: Répartition des échantillons malacologiques sur les différents profils de Waziers en fonction des unités stratigraphiques.
Tab. 1: Distribution of malacological samples within Waziers profiles according to stratigraphic units.

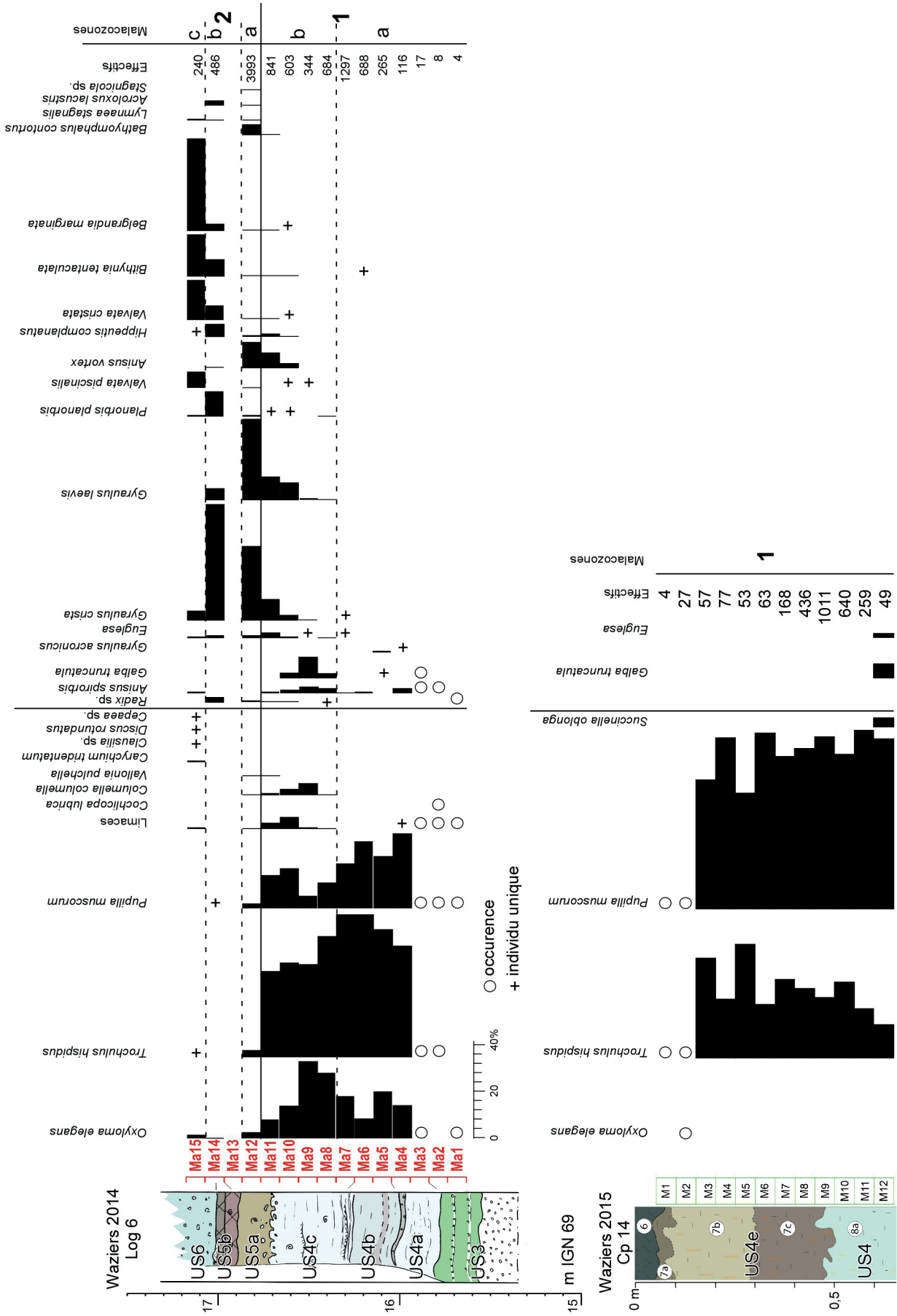


Fig. 2 : Diagrammes malacologiques du Log 6 et de la coupe 14.
 Les croix indiquent la présence d'un seul individu. Dans les échantillons trop pauvres pour faire l'objet de calculs de pourcentages (< 50 individus) les occurrences des espèces sont simplement signalées par un rond.
 Fig. 2: Malacological diagrams of Log 6 and section 14. Crosses represent single shells. In poor samples (< 50 individuals) species occurrences are indicated by a white dot.

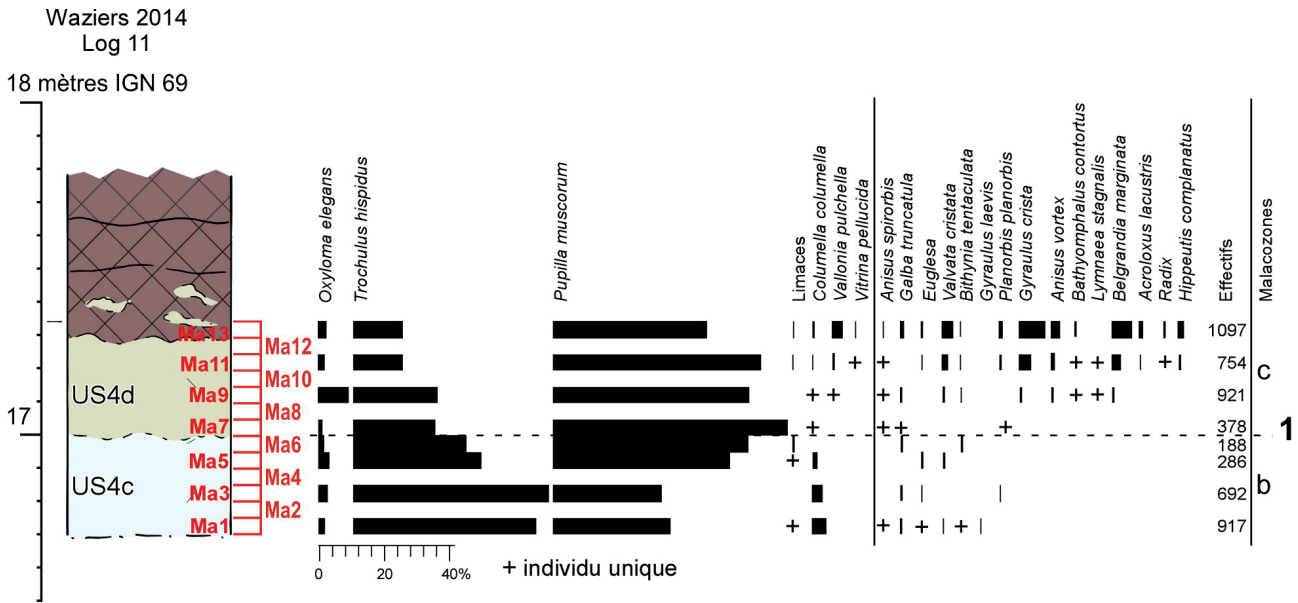


Fig. 3: Diagramme malacologique du Log 11.
Fig. 3: Malacological diagram of Log 11.

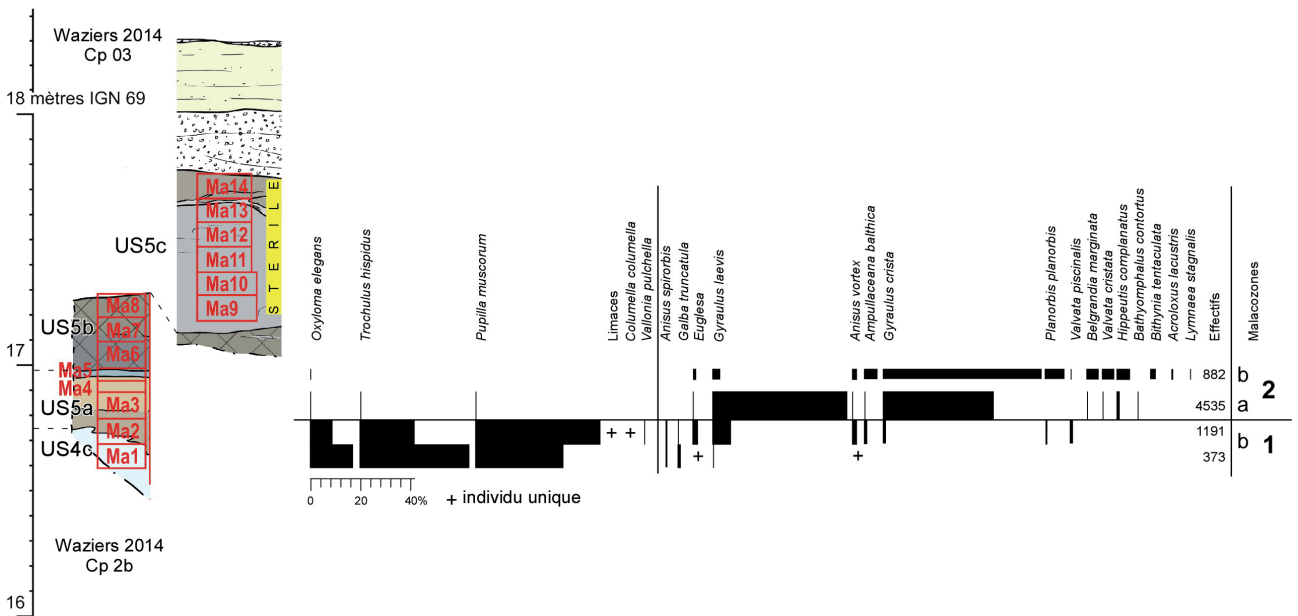


Fig. 4: Diagrammes malacologiques des profils C2b et C3.
Fig. 4: Malacological diagrams of C2b and C3 profiles.

les phases froides des cycles climatiques. L'explosion démographique de ces espèces pionnières indique une étape de recolonisation du milieu après un épisode de stress environnemental important représenté par les dépôts fluviatiles grossiers saaliens de l'US3 quasi stériles en malacofaune. À partir du sommet de l'US4a, la sédimentation fluviatile fine témoigne de l'amélioration des conditions climatiques et l'espace disponible est rapidement recolonisé par les espèces héritées des faunes du Pléniglaciaire. Les mollusques aquatiques sont sporadiques.

La succession malacologique de la coupe 14 (fig. 2) est similaire à la zone 1a dans sa composition des assemblages. Après une phase de recolonisation favorisant l'expansion des populations malacologiques, les effectifs chutent rapidement dans la partie supérieure de la séquence (échantillons M2 et M1 au sommet de l'US4e).

Les faunes pionnières de cette sous-zone indiquent un milieu exondé de fond de vallée bien drainé que la végétation recolonise rapidement.

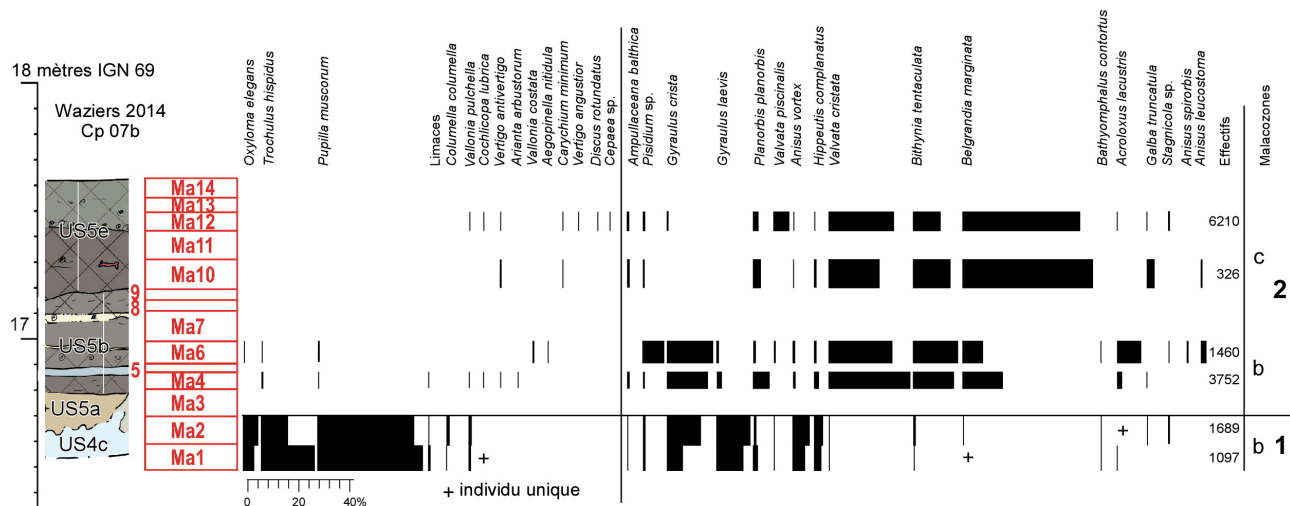


Fig. 5 : Diagramme malacologique du profil C7b.

Fig. 5: Malacological diagram of C7b profile.

3.1.2 - La sous-zone 1b à *Columella columella*

Sur le Log 6, de Ma8 à Ma11 (fig. 2) la sous-zone 1b est définie (i) par un décrochement des effectifs qui se stabilisent à nouveau vers le sommet de la zone, (ii) par un changement dans la composition des faunes qui comptent désormais une fraction aquatique plus diversifiée, bien que toujours minoritaire, et (iii) dans la fraction terrestre par l'apparition de *Columella columella*. Ce taxon de marais est notable car sa répartition moderne est boréo-alpine (Kerney & Cameron, 1979). Son occurrence dans les séries quaternaires est toujours interprétée comme un signe de péjoration climatique (Puisségur, 1976). L'espèce est parfois recensée dans les associations de phases glaciaires lorsque les conditions sont particulièrement humides (Rousseau & Keen, 1989). Dans le Nord de la France cette espèce est caractéristique des associations malacologiques de la deuxième partie du Dryas récent qui révèlent des fonds de vallée marécageux se développant sous des conditions climatiques froides (Limondin-Lozouet & Antoine, 2001; Limondin-Lozouet, 2012). Cette sous-zone est corrélative de l'US4c, on la retrouve dans la même position stratigraphique sur le Log 11 où elle est bien exprimée par une succession de six échantillons (Ma1 à Ma6) (fig. 3). Sur les autres profils, 7b et Coupes 2b/3 (figs. 4 & 5), la sous-zone 1b à *Columella columella* est identifiée à la base des séquences où elle se trouve également en correspondance avec l'US4c.

3.1.3 - La sous-zone 1c à *Vallonia pulchella* et *Vitrina pellucida*

Cette sous-zone n'est recensée que sur la coupe nommée Log 11 (fig. 3). L'échantillonnage effectué sur ce profil recoupe les unités US4c et US4d et a été réalisé sur un pas serré de 5 cm afin d'enregistrer les moindres variations des cortèges terrestres. Suite à l'unité US4c qui livre la même association à *Columella columella* que celle identifiée sur le Log 6, l'unité US4d contient des malacofaunes toujours très largement dominées par les mollusques terrestres. L'identification d'une sous-zone «c» s'appuie sur plusieurs éléments :

(i) l'augmentation des effectifs qui indique une stabilisation croissante des populations malacologiques et donc des conditions écologiques; (ii) l'apparition de deux nouvelles espèces dans la fraction terrestre, *Vallonia pulchella* et *Vitrina pellucida*. Les deux ont des valences écologiques assez larges et apprécient les milieux relativement humides à végétation herbeuse (Kerney & Cameron, 1979). Dans le Quaternaire régional elles sont caractéristiques des assemblages pionniers de fonds de vallée du Tardiglaciaire weichselien (Limondin, 1995; Limondin-Lozouet, 1998). Ici elles indiquent une étape supplémentaire dans la recolonisation du milieu et le développement du couvert végétal au sol, de plus la diminution corrélative de *C. columella* plaide pour une tendance à l'amélioration des conditions climatiques. Cette dernière appréciation est renforcée par une diversité nettement accrue des mollusques aquatiques et surtout par l'apparition de *Belgrandia marginata* (fig. 3) qui est un indicateur classique de conditions tempérées dans les cortèges pléistocènes de la région (Antoine *et al.*, 2006).

3.2 - LA ZONE 2 À MOLLUSQUES AQUATIQUES

À partir de l'US5, la composition des cortèges malacologiques connaît une transformation drastique qui exprime une bascule environnementale radicale vers un milieu aquatique. La brutalité de la transition faunistique implique certainement un hiatus dans l'accumulation sédimentaire. La zone à mollusques aquatiques présente, elle aussi, une évolution des cortèges qui permet d'identifier plusieurs phases environnementales.

3.2.1 - La sous-zone 2a à *Gyraulus laevis*

Cette subdivision correspond aux premières associations d'aquatiques, caractérisées par le développement d'importantes populations de *Gyraulus laevis* qui est une espèce d'eaux calmes supportant les substrats vaseux et capable de coloniser des habitats éphémères (Kerney, 1999). Certains auteurs la décrivent même comme une espèce pionnière, tolérante à une

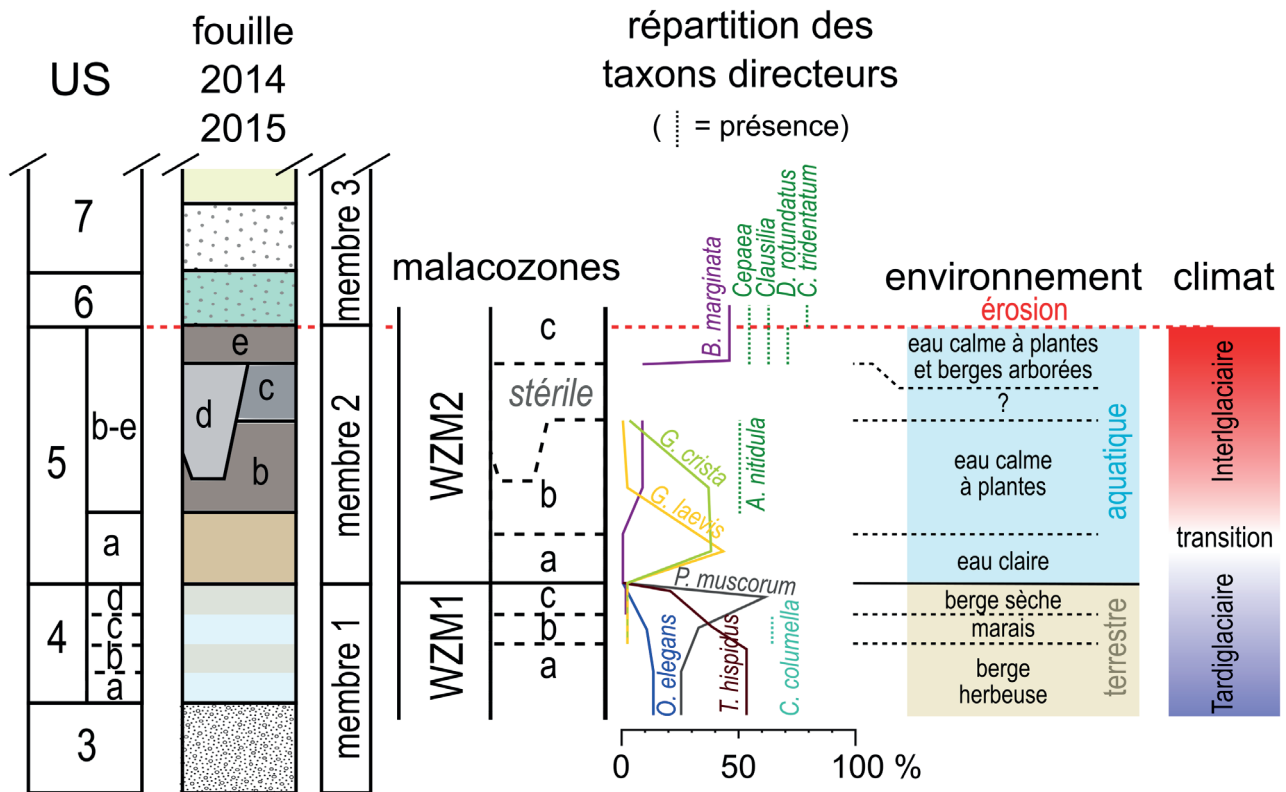


Fig. 6 : Synthèse des données stratigraphiques et malacologiques et implications environnementales et climatiques des cortèges de mollusques.
Fig. 6: Synthesis of stratigraphic and malacological data: environmental and climatic implications inferred from molluscs.

salinité légère ou au fort taux de nitrate (Welter-Schultès, 2012). En Grande-Bretagne elle figure parmi les premières espèces aquatiques à revenir après le retrait glaciaire (Kerney, 1999). L'environnement est bien celui d'un milieu aquatique en phase d'installation et susceptible de connaître des épisodes saisonniers ou ponctuels d'exondation. La sous-zone 2a est identifiée sur les profils Log 6 et Cp 2b (figs. 2-4) où elle est corrélative de l'unité US5a. Le caractère encore limoneux du dépôt est en bon accord avec la capacité décrite de *G. laevis* à s'accommoder de substrats minéraux très fins.

3.2.2 - La sous-zone 2b à *Gyraulus crista*

Rapidement la composition des cortèges de mollusques aquatiques évolue par la réduction très importante de *G. laevis* tandis que les populations de *Gyraulus crista*, déjà présentes dans la sous-zone précédente, se développent et que la diversité spécifique augmente. L'espèce caractéristique, *G. crista*, est un petit gastéropode qui colonise toutes sortes de milieux d'eaux calmes sauf ceux qui s'assèchent (Kerney, 1999). Il peut vivre sur les fonds vaseux mais quand le milieu lui est favorable, ses colonies populeuses se développent sur les plantes ou les corps flottants (Adam, 1960; Germain, 1930). Les assemblages de la sous-zone 2b indiquent la pérennisation des habitats d'eau douce. La diminution des espèces pionnières est concomitante d'une augmentation de la diversité, ces caractéristiques se combinent pour souligner l'enrichissement du milieu qui gagne en végétation aquatique et suggère l'établissement de conditions climatiques interglaciaires favorables à

l'expansion des biocénoses. Cette sous-zone est recensée sur les séquences Log 6, Cp 2b et Cp 7b (figs. 2-5) où elle apparaît en correspondance avec les premiers dépôts de tourbe qui constituent l'US5b.

3.2.3 - La sous-zone 2c à *Belgrandia marginata*

La dernière subdivision malacologique se rapporte aux cortèges sommitaux récoltés dans les unités supérieures, US5e et US6, sur les profils Log 6, et Cp 7b (figs. 3 & 5). Les malacofaunes s'y distinguent par un changement des espèces dominantes. Celles qui étaient importantes dans les sous-zones précédentes ne sont plus que sporadiques et sont remplacées par *Belgrandia marginata* qu'accompagnent *Valvata cristata* et *Bithynia tentaculata*. Le taxon dominant est un petit gastéropode qui vit dans les eaux pures de source, sur les plantes aquatiques et les feuilles submergées, *B. marginata* a une répartition actuelle méditerranéenne (Germain, 1930). À Waziers elle a le statut d'espèce allochtone c'est-à-dire en dehors de sa zone de distribution moderne. Ce mollusque est très fréquemment retrouvé dans les séries fluviales du Pléistocène dans le Nord-Ouest de l'Europe où il apparaît typique des phases interglaciaires (Preece *et al.*, 2007; Limondin-Lozouet, 2011), en revanche il n'a jamais été recensé dans les dépôts de l'Holocène des mêmes régions (Limondin-Lozouet & Preece, 2014). Son expansion importante indique une phase bien avancée de l'interglaciaire, correspondant au développement de biotopes forestiers dans les zones exondées de la plaine. Cette dernière interprétation est corroborée par la présence de quelques thermophiles terrestres caractéristiques des

habitats forestiers (*Cepaea*, *Clausilia*, *Discus rotundatus*, *Carychium tridentatum*), qui indiquent l'extension du couvert arboréen jusque sur les bords de la rivière.

La prolongation de la sous-zone 2c à *Belgrandia marginata* à la base de l'unité US6 est à discuter car elle semble a priori contradictoire avec les données lithologiques. En effet, l'US6 marque la reprise d'écoulements érosifs et le remaniement des dépôts sous-jacents dans un contexte de dégradation climatique (thermokarsts, injections de graviers de craie, cf. Deschodt *et al.*, ce volume). La sous-zone 2c dans l'US6 n'est toutefois représentée que par un seul échantillon à la base de l'unité dans le log 11 (fig. 3). Il est probable qu'à l'instar de l'abondante faune mammalienne incorporée à l'unité US6 et retrouvée en position secondaire (Auguste *et al.*, ce volume), l'échantillon concerné témoigne de la forte érosion des niveaux sous-jacents déposés dans des conditions interglaciaires.

4 - SYNTHÈSE DE LA SUCCESSION MALACOLOGIQUE ET COMPARAISONS RÉGIONALES

Le schéma de la figure 6 présente en regard d'une stratigraphie synthétique du site fouillé en 2014-2015 l'extension stratigraphique des zones malacologiques, le développement des taxons directeurs ainsi que leur interprétation environnementale et climatique. Les résultats sont conformes avec ceux de l'étude malacologique liminaire réalisée sur l'observation dite du « puisard » distante d'environ 300 m (Deschodt *et al.*, 2022). La définition des malacofaunes participe à la corrélation stratigraphique entre les deux secteurs.

L'unité US4 livre des faunes terrestres témoignant d'une plaine exondée, les mollusques aquatiques très sporadiques dans les assemblages, indiquent un apport ponctuel par débordements saisonniers et suggèrent des écoulements concentrés sur un nombre limité de chenaux (voire un chenal unique à méandres). La composition des cortèges offre une diversité limitée et rappelle les assemblages régionaux de phase froide généralement conservés dans les dépôts de versants (Limondin-Lozouet & Gauthier, 2003). Les meilleures équivalences régionales avec les faunes de plaine sont celles des malacofaunes du Tardiglaciaire weichselien qui conservent les espèces héritées du Pléniglaciaire telles que celles trouvées à Waziers mais se caractérisent par le développement important des espèces du genre *Vallonia* qui manquent ici (Limondin-Lozouet, 2002, 2012). Plus proches encore de celle de Waziers, les faunes de la base de la séquence pléistocène de Caours présentent une grande similitude avec celles de la sous-zone 1b à *Columella columella* (Antoine *et al.*, 2006). Dans les séries fluviales du Tardiglaciaire weichselien, cette espèce caractéristique des épisodes froids n'est recensée que pendant la deuxième partie du Dryas récent en compagnie de *Trochulus hispidus*, *Pupilla muscorum* et *Oxyloma elegans*. Cette forte concordance malacologique entre le Dryas récent et les premiers assemblages des niveaux limoneux de Caours a été soulignée et interprétée comme une phase représentant

le Tardiglaciaire précédant l'interglaciaire Eemien (Limondin-Lozouet, 2011). À Caours cependant, où la transition vers les assemblages forestiers interglaciaires est brutale, la succession des malacofaunes met en évidence un hiatus correspondant à l'arrivée des premiers thermophiles en tout début d'interglaciaire (Limondin-Lozouet, 2011). La séquence de Waziers complète l'enregistrement malacologique de cette phase tardiglaciaire précédant l'Eemien, les faunes de la sous-zone 1a sont semblables aux assemblages pléniglaciaires de versant mais leur occurrence dans les premiers dépôts fins peut correspondre à une étape pionnière de recolonisation des biotopes de fond de vallée lors d'une phase d'amélioration climatique. Dans la sous-zone 1c la variation des cortèges indique l'assèchement du milieu qui favorise l'expansion du xérophile *P. muscorum* et la disparition du très hygrophile *C. columella* caractéristique de la sous-zone 1b précédente. L'interprétation d'une amélioration climatique est soutenue par (i) l'apparition dans le cortège terrestre de nouveaux taxons, *Vallonia pulchella* et *Vitrina pellucida*, classiquement recensés dans les faunes régionales interstadias (Limondin-Lozouet, 1998, 2002); et (ii) dans le cortège aquatique par l'occurrence de *B. marginata* qui est un thermophile de répartition moderne méditerranéenne.

La bascule environnementale radicale qui caractérise la malacozone 2 survient dans l'unité US5, elle montre l'envahissement du fond de vallée par des habitats aquatiques pérennes sur la majeure partie de l'année qui abritent essentiellement des faunes de mollusques dulcicoles. La rapidité du changement suggère l'existence d'un hiatus. La succession des malacofaunes indique le développement rapide des communautés qui s'enrichissent en taxons révélant un milieu calme, riche en plantes. À partir de l'unité US5b la présence de quelques taxons terrestres indicateurs de berges boisées, l'évolution de la diversité et le développement du thermophile *B. marginata*, sont des marqueurs fiables pour identifier des conditions interglaciaires. Ces données malacologiques sont en accord avec les analyses polliniques qui rendent compte du développement de la couverture forestière dans le niveau de tourbe supérieur (Gauthier, 2022).

La partie interglaciaire de l'enregistrement malacologique de Waziers est comparable à ce qui a été observé dans la plaine de la Lys près d'Erquinghem (Sommé *et al.*, 1996). Dans les formations eemiennes qui s'y développent les malacofaunes sont fortement liées au domaine aquatique et révèlent un environnement de rivière au cours assez lent bordée d'arbres et de buissons (Sommé *et al.*, 1996). Par ailleurs on retrouve dans les cortèges initiaux mention de *G. laevis* et par la suite d'importantes populations de *B. marginata* comme à Waziers. Dans la Lys comme à Waziers les notations de mollusques terrestres de milieu fermé sont corrélées à des enregistrements polliniques qui montrent l'extension des couverts forestiers dans les zones exondées de la vallée (Sommé *et al.*, 1996; Hérisson *et al.*, 2015; Gauthier 2022). Parallèlement à Caours, l'optimum interglaciaire est directement enregistré par les malacofaunes qui apparaissent très diversifiées et riches en espèces forestières (Antoine *et al.*, 2006; Limondin-Lozouet & Preece, 2014). Enfin, l'unité US6 de Waziers, qui marque

le retour d'écoulements compétents avec l'érosion des niveaux sous-jacents, contient encore à sa base la malacocénose 2c. Celle-ci doit être toutefois considérée comme remaniée.

La succession malacologique de Waziers permet de mieux documenter la phase Tardiglaciaire du Saalien précédant l'interglaciaire Eemien en complétant les premières données acquises à Caours. À Waziers la recolonisation du fond de vallée par d'importantes populations malacologiques terrestres suggèrent une ambiance interstadaire précédant un interglaciaire au sein duquel s'insère un épisode de péjoration climatique. Les séries malacologiques des deux sites permettent de souligner l'existence d'un hiatus révélé par une bascule environnementale brutale à la transition climatique correspondant au début de l'interglaciaire. À Caours cet épisode correspond au passage de faunes froides de milieu ouvert à des assemblages tempérés diversifiés déjà riches en espèces forestières. À Waziers les malacofaunes terrestres du tardiglaciaire sont brutalement remplacées par des cortèges aquatiques. Cette évolution dans les successions de malacofaunes témoigne d'un épisode érosif dans les vallées au début de l'interglaciaire Eemien en relation avec l'augmentation de la dynamique fluviale (Antoine *et al.*, 2006) qui rappelle ce qui a été observé au cours de la première partie du Préboréal dans les fonds de vallée de la région (Antoine, 1997).

REMERCIEMENTS

L'auteur remercie les deux relecteurs, F. Magnin et J. Mouthon pour leurs commentaires constructifs. Je suis très reconnaissant à J. Mouthon pour son assistance dans la détermination des Sphaeriidae.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADAM W., 1960 - *Faune de Belgique, Mollusques terrestres et dulci-côles*. Institut royal des sciences naturelles de Belgique, Bruxelles, 402 p.
- ANTOINE P., 1997 - Modifications des systèmes fluviaux à la transition Pléistocène-Tardiglaciaire et à l'Holocène: l'exemple du bassin de la Somme (Nord de la France). *Géographie Physique et Quaternaire*, **51** (1), 93-106.
- ANTOINE P., LIMONDIN LOZOUET N., AUGUSTE P., LOCHT J.-L., GALEHB B., REYSS J.L., ESCUDÉ É., CARBONEL P., MERCIER N., BAHAIN J.J., FALGUÈRES C. & VOINCHET P., 2006 - Le tuf de Caours (Somme, France): mise en évidence d'une séquence éemienne et d'un site paléolithique associé. *Quaternaire*, **17**, 281-320.
- AUGUSTE P., SÉVÈQUE N. & LOUGUET S., 2022 - La mésofaune et macrofaune mammalienne de Waziers (Nord), Le Bas-Terroir. Données Paléontologiques. *Quaternaire*, **33** (4), 311-322.
- DABKOWSKI J., LIMONDIN-LOZOUET N., ANDREWS J. MARCA-BELL & A. ANTOINE P., 2016 - Climatic and environmental variations during the last interglacial recorded in a northern France tufa (Caours, Somme Basin). Comparisons with regional records. *Quaternaire*, **27** (3), 249-261.
- DESCHODT L., ANTOINE P., JAMET G., PETITE Y., HÉRISSON D., COUTARD S. & LIMONIN-LOZOUET N., 2022 - Waziers (Plaine de la Scarpe, Nord de la France): synthèse lithostratigraphique des observations effectuées de 2011 à 2015. *Quaternaire*, **33** (4), 247-272.
- GAUTHIER A., 2022 - Dynamique de la végétation et changements environnementaux en réponse aux variations climatiques de la fin du Saalien à l'Eemien: résultats de l'analyse palynologique. *Quaternaire*, **33** (4), 291-299.
- GERMAIN L., 1930 - *Faune de France. Mollusques terrestres et fluviatiles*. Lechevalier, Paris, 893 p.
- HÉRISSON D., AUGUSTE P., DESCHODT L., LOCHT J.-L., SÉVÈQUE N., VALLIN L., LOUGUET S. & MASSON B., soumis - Waziers, Le Bas-Terroir: un nouveau gisement archéologique témoignant de passages discrets mais récurrents de Néandertaliens depuis le Tardiglaciaire du SIM 6 à l'optimum eemien (SIM 5e) dans le Nord de la France. *Quaternaire*.
- KERNEY M.P., 1999 - *Atlas of the Land and Freshwater mollusc of the British Isles*. Harley Books, Colchester, 216 p.
- KERNEY M.P. & CAMERON R.A.D., 1979 - *A field guide to the Land snails of Britain and North West Europe*. Collins, London, 288 p.
- KILLEEN I., ALDRIDGE D. & OLIVER G., 2004 - *Freshwater bivalves of Britain and Ireland*. AIDGAP identification guide, **82**. Field Studies Council, Shrewsbury, 114 p.
- LIMONDIN N., 1995 - Late-glacial and Holocene Malacofaunas from Archaeological Sites in the Somme Valley (North France). *Journal of Archaeological Science*, **22**, 683-698.
- LIMONDIN-LOZOUET N., 1998 - Successions malacologiques du Tardiglaciaire weichsélien: corrélations entre séries du Nord de la France et du Sud-Est de la Grande-Bretagne. *Quaternaire*, **9**, 217-225.
- LIMONDIN-LOZOUET N., 2002 - Impact des oscillations climatiques du Tardiglaciaire sur l'évolution des malacofaunes de fonds de vallée en Europe du Nord-Ouest. In H. Richard & A. Vignot (éds.), *Équilibres et Ruptures des écosystèmes durant les 20 derniers millénaires en Europe de l'Ouest: Actes du Colloque international de Besançon, septembre 2000*. Presses Universitaires Franc-Comtoises, Annales Littéraires 730, Série Environnement, sociétés et archéologie, **3**, 45-51.
- LIMONDIN-LOZOUET N., 2011 - Successions malacologiques à la charnière Glaciaire/Interglaciaire: du modèle Tardiglaciaire-Holocène aux transitions du Pléistocène. *Quaternaire*, **22**, 211-220.
- LIMONDIN-LOZOUET N., 2012 - Les successions malacologiques de la séquence fluviale de Conty (Somme - France): implications paléoenvironnementales et climatiques. *Quaternaire, Hors série 5*, 23-41.
- LIMONDIN-LOZOUET N. & ANTOINE P., 2001 - Palaeoenvironmental changes inferred from malacofaunas in the Lateglacial and Early Holocene fluvial sequence at Conty (Northern France). *Boreas*, **30**, 148-164.
- LIMONDIN-LOZOUET N. & GAUTHIER A., 2003 - Biocénoses pléistocènes des séquences loessiques de Villiers-Adam (Val d'Oise, France): études malacologiques et palynologiques. *Quaternaire*, **14**, 237-252.
- LIMONDIN-LOZOUET N. & PREECE R.C., 2014 - Quaternary perspectives on the diversity of land snail assemblages from NW Europe. *Journal of Molluscan Studies*, **80**, 224-237, doi: 10.1093/mollus/eyu047.
- LORENKOVÁ E., BERAN L., NOVÁKOVÁ M., HORSÁKOVÁ V., ROWSON B., HLAVÁČ J.C., NEKOLA J.C. & HORSÁK M., 2021 - Invasion at the population level: a story of the freshwater snails *Gyraulus parvus* and *G. laevis*. *Hydrobiologia*, **848**, 4661-4671.
- MOINE O., 2008 - West-European malacofauna from loess deposits of the Weichselian Upper Pleniglacial: compilation and preliminary analysis of the database. *Quaternaire*, **19**, 11-29.
- PREECE R.C., PARFITT S.A., BRIDGLAND D.R., LEWIS S.G., ROWE P.J., ATKINSON T.C., CANDY I., DEBENHAM N.C., PENKMAN K.E.H., RHODES E.J., SCHWENNINGER J.L., GRIFFITHS H.I., WHITTAKER J.E. & GLEED-OWEN C., 2007 - Terrestrial environments during MIS 11: evidence from the Palaeolithic site at West Stow, Suffolk, UK. *Quaternary Science Reviews*, **26**, 1236-1300.
- PRIÉ V., 2017 - *Naiades et autres bivalves d'eau douce de France*. Inventaires et biodiversité, Biotopie, Publications scientifiques du Muséum, Paris, Mèze, 336 p.
- PUISSÉGUR J.-J., 1976 - *Mollusques continentaux quaternaires de Bourgogne*. Doin, Paris, 241 p.
- ROUSSEAU D.-D. & KEEN D. H., 1989 - Malacological records from the Upper Pleistocene at Portelet (Jersey, Channel Islands): comparisons with western and central Europe. *Boreas*, **18**, 61-66.
- SOMMÉ J., MUNAUT A.V., PUISSÉGUR J.J., CUNAT-BOGE N., HEYVAERT F. & LEPLAT J., 1996 - L'Eemien sous les formations fluviales weichséliennes et holocènes du sondage d'Erquinghem (Nord de la France) dans la plaine de la Lys. *Quaternaire*, **7**, 15-28.
- WELTER-SCHULTÈS F., 2012 - *European non-marine molluscs, a guide for species identification*. Planet Poster Editions, Göttingen, 757 p.

LA MÉSOFAUNE ET MACROFAUNE MAMMALIENNE DE WAZIERS (NORD), LE BAS-TERROIR (CAMPAGNES 2014-2015). DONNÉES PALÉONTOLOGIQUES

Patrick AUGUSTE¹, Noémie SÉVÊQUE² & Sophie LOUGUET³

RÉSUMÉ

Les fouilles menées sur le site Le Bas-Terroir à Waziers (Nord) en 2014 et 2015 ont permis la découverte de vestiges fauniques de mammifères, d'oiseaux et d'un reptile. Ils se répartissent de manière inégale au sein de la séquence stratigraphique : dans l'unité 4 (US4) fin-saaliennne avec le cheval comme seul taxon présent ; l'unité 5 (US5) mise en contemporanéité avec l'Eemien où le corpus est assez diversifié ; puis les unités 6 et 7 (US7) du début Weichsélien montrant une faune assez proche de celle de l'unité précédente. Les travaux ont porté sur la mésofaune et la macrofaune mammalienne. C'est l'aurochs (*Bos primigenius*) qui est l'espèce la mieux représentée, suivi du chevreuil (*Capreolus capreolus*), du castor (*Castor fiber*), du cheval d'Achenheim (*Equus achenheimensis*), du rhinocéros de prairie (*Stephanorhinus hemitoechus*). Le cerf élaphe (*Cervus elaphus*), l'ours brun (*Ursus arctos*), le mégacéros (*Megaloceros giganteus*), la loutre (cf. *Aonyx antiqua*) et peut être le daim (cf. *Dama dama*) sont plus anecdotiques. Le cheval de l'US4 montre une affinité avec les chevaux des phases de transition de la fin du Saalien (MIS 7 et 6) et est donc parfaitement adapté aux conditions environnementales qui sont mises en évidence par ailleurs sur le site. La faune des tourbes eemiennes de l'US5 est clairement à affinité tempérée et à dominance forestière, mais sans avoir les espèces typiques (sanglier et daim) que l'on rencontre dans le site contemporain de Caours (Somme) dans les niveaux 3 à 1 correspondant à l'optimum de cet Interglaciaire. Les deux dernières unités fossilifères, US6 et US7 livrent une faune assez comparable à celle de l'unité sous-jacente. Le site de Waziers joue donc un rôle essentiel pour mieux appréhender les dynamiques des peuplements mammaliens en France septentrionale à la fin du Chibanien et au début du Pléistocène supérieur.

Mots-clés : Saalien, Eemien, mammifères, paléoécologie, biochronologie

ABSTRACT

MAMMALS MESOFAUNA AND MACROFAUNA FROM WAZIERS, LE BAS-TERROIR. PALAEONTOLOGICAL DATA (2014-2015)

Excavations carried out at the Le Bas-Terroir site in Waziers (Nord) in 2014 and 2015 led to the discovery of faunal remains of mammals, birds and a reptile. They are unevenly distributed within the stratigraphic sequence: in the Final-Saalian Unit 4 (US4) with the horse as the only taxon present; Unit V contemporaneous with the Eemian where the corpus is quite diversified; then Units 6 (US6) and 7 (US7) of the early Weichselian showing a fauna quite close to that of the previous unit. The aurochs (*Bos primigenius*) is the best represented species, followed by the roe deer (*Capreolus capreolus*), the beaver (*Castor fiber*), the Achenheim horse (*Equus achenheimensis*), and the grassland rhinoceros (*Stephanorhinus hemitoechus*). The red deer (*Cervus elaphus*), the brown bear (*Ursus arctos*), the megaceros (*Megaloceros giganteus*), the otter (cf. *Aonyx antiqua*) and perhaps the fallow deer (cf. *Dama dama*) are more anecdotal. The horse of Unit IV shows an affinity with the horses of the late Saalian transitional phases (MIS 7 and 6) and is therefore perfectly adapted to the environmental conditions that are evident elsewhere on the site. The Eemian peat fauna of US5 is clearly temperate in affinity and forest-dominated, but without the typical species (wild boar and fallow deer) found in the contemporary Caours (Somme) site in levels 3 to 1 corresponding to the optimum of this interglacial. The last two fossiliferous units, US6 and US7, provide a fauna that is fairly comparable to that of the underlying unit. The Waziers site thus plays an essential role in better understanding the dynamics of mammalian populations in northern France at the end of the Chibanian and the beginning of the Upper Pleistocene.

Keywords : Saalian, Eemian, Mammals, paleoecology, biochronology

1 - INTRODUCTION

Les campagnes de terrain menées à Waziers, le Bas-Terroir en 2014 et 2015 ont permis la découverte de plusieurs dizaines de vestiges dentaires et osseux de vertébrés. Ce site se localise dans le département du Nord (Hérisson *et al.*, 2022), en périphérie de l'agglomération de Douai (fig. 1). Les vestiges se répartissent dans huit unités stratigraphiques de synthèses, US4, US5a à US5e, US6 et US7 (fig. 2) et couvrent trois membres litho-stratigraphiques (Deschodt *et al.*, 2022). Le membre 1

est composé de sables et graviers (US3) surmontés par un limon gris (US4). Il est interprété comme alluvions de la fin du Saalien. Le membre 2 est composé de dépôts limono-organique (US5a) et d'une tourbe (US5b, US5e) où s'insèrent des dépôts alluviaux limoneux clastiques (US5c, US5d). Il est interprété comme dépôt de zone humide ou de chenal dans un contexte de passage aux conditions interglaciaires eemiennes. Le membre 3 scelle et déborde largement les membres 1 et 2 qui constituent la Formation de Waziers. Il débute par des dépôts grossiers en ravines (US6) associés à une érosion et à des

¹ CNRS, Univ. Lille UMR 8198 – Evo-Eco-Paléo, FR-59000 LILLE, France. Courriel : patrick.auguste@univ-lille.fr

² UMR 7044 « ArcHiMède » équipe Préhistoire de l'Europe moyenne, MISHA – 5 allée du Général Rouvillois, FR-67083 STRASBOURG Cedex ; GéoArchPal – GéoArchÉon SARL. Courriel : noemieseveque@gmail.com

³ CNRS, Univ. Lille UMR 8164 – HALMA, FR-59000 LILLE, France. Courriel : hypsodonta@gmail.com

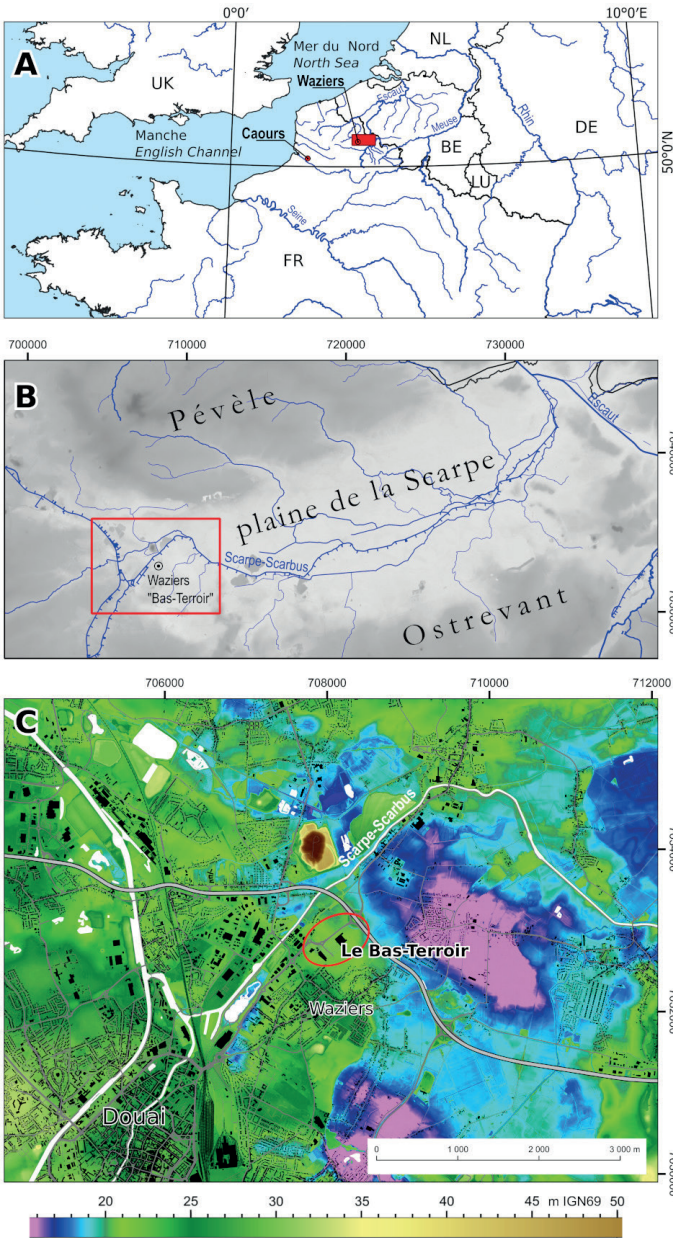


Fig. 1: Localisation du gisement de Waziers «Bas-Terroir» (France).

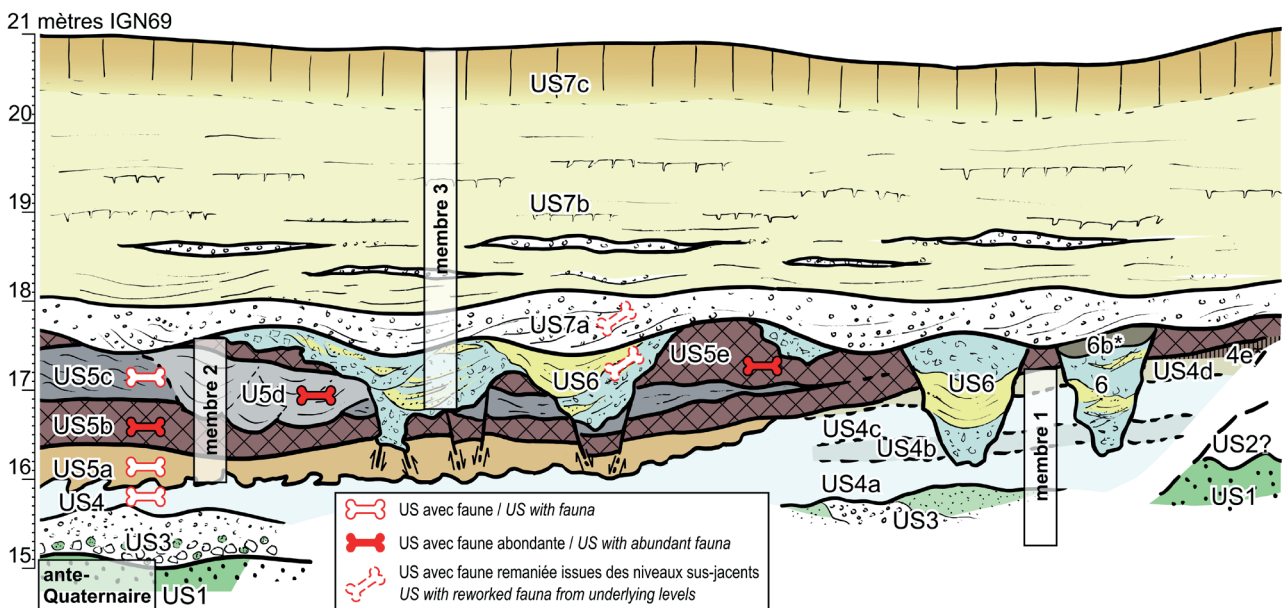
(A) Localisation de la plaine de la Scarpe en Europe du nord-ouest. Coordonnées UTM. (B) Localisation du gisement de Waziers dans la plaine de la Scarpe. Coordonnées en mètres Lambert 93. (C) Localisation du gisement de Waziers «Bas-Terroir» sur un MNT issu du Lidar Scarpe (Source DREAL; D.A.O.: L. Deschodt).

Fig. 1: Location of the Waziers «Bas-Terroir» deposit (France). (A) Location of the Scarpe Plain in northwestern Europe. UTM coordinates. (B) Location of the Waziers deposit in the Scarpe plain. Coordinates in metres Lambert 93. (C) Location of the Waziers “Bas-Terroir” deposit on a DTM from the Scarpe Lidar (Source DREAL; C.A.D.: L. Deschodt).

Fig. 2: Synthèse lithostratigraphique des campagnes de fouille 2014-2015 et position des vestiges de vertébrés découverts à Waziers, le Bas-Terroir.

US1/ Substrat antequaternaire (sable éocène). US2/ Formation de versant. US3/ Dépôts grossiers fluviaux (craie, sable glauconieux, grès glauconieux) US4/ Dépôts fluviaux fins à dominante clastique (4a/ limon gris inférieur. 4b/ limon légèrement organique. 4c/ limon gris supérieur. 4d/ limon brunâtre. 4e/ Horizons pédologiques). US5/ Dépôts fluviaux fins à dominante organique (5a/ Limon brunâtre inférieur. 5b/ Tourbe laminée inférieure, riche en avifaune. 5c/ Limon gris laminé, remplissage d'un large chenal. 5d/ limon gris, remplissage de chenaux étroits. 5e/ Limon brunâtre supérieur et tourbe, riche en bois végétal et en os de castors. US6/ Dépôts fluviaux remaniés, graviers d'argile et figures thermokarstiques. US7/ Dépôts de couverture (7a/ graviers de craie. 7b/ sable et limon lité. 7c/loess et pédogenèse). N0 à N3/ niveaux archéologiques. */unité exclusivement présente sur l'excavation 2015 (D.A.O.: L. Deschodt).

Fig. 2: Lithostratigraphic synthesis of 2014-2015 excavation and location of vertebrate remains at Waziers, Le Bas-Terroir. 1/ Antequaternary substratum (Eocene sand). 2/ Slope formation. 3/ Fluvial coarse deposits (chalk, glauconitic sand and glauconitic sandstones). 4/ Thin fluvial mainly clastic deposits (4a/ lower grey silt. 4b/ slighty organic silt. 4c/ Upper grey silt. 4d/ Upper brownish loam. 4e/ Soil horizons). 5/Thin fluvial mainly organic deposits (5a/ Lower brownish silt. 5b/ Lower laminated peat, with rich avifauna. 5c/ Laminated grey silt, large channel infilling. 5d/ Grey silt, narrow channels infilling. 5e/ Upper brownish silt and peat; rich in wood pieces and beavers bones). 6/ Reworked fluvial deposit, clayey gravels and thermokarstic figures. 7/ Covering deposits (7a/ chalk gavels and silt. 7b/ Bedded sand and silt. 7c/loess and weathering). N0 to N3/ archaeological levels. ()/unit exclusively present on the 2015 excavation (C.A.D.: L. Deschodt).*



marqueurs de froids suivit par un dépôt fluviatile extensif de graviers de craie (US7a). US6 et US7a remanient des éléments présents dans les unités sous-jacentes et est attribué au glaciaire weichselien. Le membre 3 est ensuite composé d'un dépôt fluvio-éolien lité (US7b) passant à un loess en partie supérieure (US7c) attribué à la fin du Pléni-glaciaire weichselien.

La présence de faunes quaternaires de vertébrés, en particulier de mammifères, est peu courante en France septentrionale au cours de cette période de temps, faisant de ce site un jalon potentiellement important pour suivre les dynamiques de peuplements animaux dans la région (Auguste, 2009).

2 - MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les vestiges fauniques identifiés à Waziers en 2014 et 2015 sont au nombre de 151 (tab. 1), dont 148 proviennent d'unités stratigraphiques reconnues, seuls trois os sont hors contexte stratigraphique. Dix espèces de mammifères ont été déterminées (macro et méso faune), ainsi que plusieurs espèces d'oiseaux, de rongeurs et de tortues (Lebreton *et al.*, accepté).

Tous ces restes dentaires et osseux ont été déterminés de manière traditionnelle par anatomie comparée avec les espèces actuelles analogues ou proches. Seuls le rhinocéros et le cheval ont fait l'objet d'une approche complémentaire morphométrique afin de préciser leur diagnose spécifique.

Il apparaît très peu utile de quantifier la représentation faunique mammalienne à Waziers par le nombre d'individus. Les dénombrements des différents taxons identifiés à Waziers seront donc au niveau du nombre de restes, même si individuellement dans certains cas il sera possible de mentionner des particularités.

Il est à signaler l'excellent état de conservation du matériel, surtout dans les niveaux tourbeux, ceci facilitant

la détermination et l'analyse de la surface des os. Ainsi, 130 pièces sur 151 ont pu être attribuées anatomiquement et spécifiquement, soit un taux de détermination (rapport entre le nombre total de pièces et le nombre de pièces déterminées anatomiquement et spécifiquement) très élevé de 86 % de matériel déterminé, pourcentage très rarement atteint dans des sites pléistocènes. Lors de la fouille, tous les vestiges osseux et dentaires ont été relevés. Il n'y a donc aucun biais lié à une récupération sélective du matériel faunique. L'état de conservation exceptionnel, caractéristique de l'ensemble du site de Waziers, a permis une analyse fine des processus taphonomiques puis paléontologiques, qui sont développés par ailleurs (Hérisson *et al.*, 2022).

L'étude taphonomique de ces vestiges démontre l'impact de l'Homme dans certaines unités, au travers des activités de boucherie, mais également d'agents naturels tels que l'eau, les carnivores et un rongeur (Hérisson, *et al.*, soumis). Le site de Waziers, le Bas-Terroir, semble correspondre à une zone de rejet en périphérie des aires d'occupations humaines situées sur la berge. La présence du barrage de castor peut avoir eu un effet attracteur, avec par exemple une potentialité de réemploi des bois appointés par les animaux, mais aussi, comme le prouve un tibia de castor portant des marques de découpe pour récupérer la viande, représenter une exploitation alimentaire de ces rongeurs de forte taille par les Néandertaliens.

3 - RÉSULTATS

Les mammifères présents à Waziers sont :

- l'aurochs (*Bos primigenius* Bojanus, 1827), avec vingt-quatre restes au sein de cinq unités stratigraphiques (US 5d, 5e, 6, 7a et hors stratigraphie). C'est l'espèce la mieux représentée à Waziers et identifiée dès les opérations de diagnostics de 2013 (Hérisson *et al.*,

Taxon \ US	M1	lim. M1-M2	Membre 2					Membre 3			HS	Total	
	4	lim. 4-5a	5	5a	5b	5c	5d	5e	6	7			7a
<i>Bos primigenius</i>							2	2	15		4	1	24
<i>Cervus elaphus</i>									2				2
<i>Dama dama</i> ?											1		1
<i>Megaloceros giganteus</i>		1											1
<i>Capreolus capreolus</i>					6		1	3	2				12
<i>Stephanorhinus hemitoechus</i>					2			1					3
<i>Equus achenheimensis</i>	4								1		1		6
<i>Ursus arctos</i>							1		1				2
cf. <i>Aonyx antiqua</i>					1								1
<i>Castor fiber</i>				1	5		1	2	1				10
Grand herbivore					3			1	8			1	13
Petit mammifère					1			1					2
Indéterminés	2		2		6	1	3	1	6			1	22
Oiseaux			1		18		5	17	5				46
Rongeur					1			1					2
Tortue					1		1	2					4
TOTAL	6	1	3	1	44	1	14	31	41	0	6	3	151

Tab. 1 : Inventaire et dénombrement des taxons de vertébrés identifiés à Waziers, le Bas-terroir.

L'unité est le nombre de restes.

Tab. 1: Inventory and count of vertebrate taxa identified at Waziers, the Bas-terroir. The unit is the Number of Identified Specimen.

2022). Ce sont surtout des os d'adultes qui ont été mis au jour, sauf dans l'US5d où un veau est mis en évidence. L'animal montre des caractéristiques spécifiques de son espèce, qui le différencie du bison (fig. 3). Ainsi pour le radius n° 292 de l'US6, les éléments diagnostiques sont les suivants: le relief latéral d'insertion est extrêmement bien développé et très massif; la cavité glénoïdale latérale présente une forme plutôt rectangulaire; en vue latéro-proximale, la cavité glénoïdale latérale est dans le même plan que la cavité médiale; en vue dorsale, la surface articulaire proximo-médiale est rectiligne, la surface articulaire proximo-latérale est très concave; en vue médiale, la zone d'insertion du muscle biceps brachial est assez développée, mais relativement peu haute, sa forme est trapézoïdale. Les dimensions des os témoignent d'individus de taille variable. Aucun vestige dentaire n'a été découvert, et seul trois os sont entiers, un cubo-naviculaire, un malléolaire et une vertèbre cervicale.

- le cerf élaphe (*Cervus elaphus* Linné, 1758), avec deux restes dans l'US6, une portion de radius et un métatarsien sub-entier.

- le daim ? (*Dama dama* Linné, 1758 ?), avec un unique os dans l'US7a. Un talus présente une taille trop

élevée pour être rapporté au chevreuil mais trop réduite pour être un cerf.

- le mégacéros (*Megaloceros giganteus* Blumenbach, 1799), avec un seul élément anatomique à la limite des US4 et US5a. Ce grand cervidé a pu être identifié à Waziers grâce à une prémolaire supérieure morphologiquement et morphométriquement caractéristique (fig. 4). Cette dent se différencie nettement de celle d'un grand cerf élaphe, mais également de celle de l'élan, de taille comparable au mégacéros: le pli protoconique est triangulaire; le sillon lingual se situe presque au milieu de la zone: l'absence de tout îlot d'émail.

- le chevreuil (*Capreolus capreolus* Linné, 1758), avec douze restes dans quatre unités (US 5b, 5d, 5e et 6). Il est représenté à Waziers par des restes dentaires et osseux. Quatre d'entre eux sont en fait les constituants d'un seul et même os, un tibia d'un faon.

- le rhinocéros (*Stephanorhinus hemitoechus* Falconer, 1868), avec trois pièces provenant des US5b et 5e. Il s'agit là de l'espèce la plus spectaculaire de Waziers, avec des portions d'un crâne d'un très jeune individu portant les deux séries dentaires déciduales droites et gauches ainsi que les bourgeons gauches et droits de la première molaire (figs. 5 & 6).

L'autre pièce du niveau US5e est une diaphyse de tibia dont les deux extrémités sont absentes (rognage par un

Fig. 3: Waziers, le Bas-Terroir 2015 - Radius droit d'aurochs (US6, 292).

Vue proximale en haut, dorsale en bas (Photos et D.A.O.: N. Sévêque).

Fig. 3: Waziers, Bas-Terroir 2015 - Right radius of aurochs (US6, 292). Proximal view above, dorsal view below (Photos and C.A.D.: N. Sévêque).



Fig. 4: Waziers, le Bas-Terroir 2014 - Troisième prémolaire supérieure droite de mégacéros (limite US4-US5a, 138).

Vue occlusale (photo N. Sévêque).
Fig. 4: Waziers, Bas-Terroir 2014 - Upper right third premolar of megaceros (limit US4-US5a, 138). Occlusal view (photo N. Sévêque).

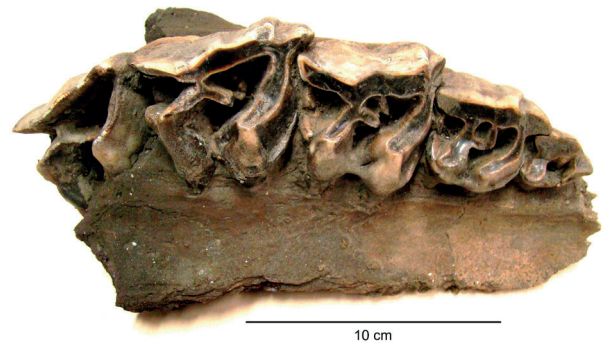


Fig. 5: Waziers «Le Bas-Terroir» 2014 – Rhinocéros, maxillaire droit portant la série des quatre dents déciduales supérieures en fonction et le bourgeon encore non fonctionnel de la première molaire supérieure (US5b, 7).

Vue occlusale (photo S. Louguet).

Fig. 5: Waziers "Le Bas-Terroir" 2014 - Rhinoceros, right maxilla bearing four functional upper deciduous teeth and the non-functional first upper molar (US5b, 7). Occlusal view (photo S. Louguet).

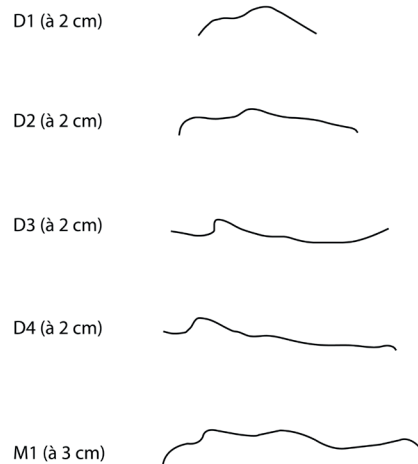


Fig. 6: Profils des ectolophes des dents supérieures du rhinocéros de Waziers, le Bas-Terroir.

(dessin S. Louguet).
Fig. 6: Ectolophic profiles of the upper teeth of the Waziers rhinoceros, Bas-Terroir (drawing S. Louguet).

carnivore).

De par son caractère exceptionnel, il est apparu important de pouvoir identifier spécifiquement le rhinocéros découvert à Waziers. De par la taille du tibia et surtout les dimensions des dents jugales supérieures, celui-ci avait été provisoirement attribué sur le terrain au rhinocéros de Merck. Nous avons donc réalisé une analyse poussée des deux séries dentaires lactéales supérieures de ce rhinocéros. La description des dents a été établie d'après les critères morphologiques de C. Guérin (1980) et complétée d'après ceux de Lacombat (2005). Les caractéristiques morphologiques de ces dents sont regroupées dans le tableau 2, mais décrites individuellement pour chaque dent ci-dessous.

La D1 supérieure (fig. 5):

le crochet et la crista sont faibles; la médifossette est ouverte tandis qu'elle est toujours fermée chez *C. antiquitatis* (Guérin, 1980); présence d'un cingulum lingual continu et d'un cingulum mésial; le profil de la muraille, relevé à 2 cm au-dessus du collet pour les

déciduales, est convexe (fig. 6).

La D2 supérieure (fig. 5):

le crochet est simple; la crista est simple; absence d'anticrochet; présence d'un cingulum lingual discontinu et d'un cingulum mésial; la médifossette est fermée;

étranglement du protocône faible; le profil de la muraille est en «v» inversé très ouvert (fig. 6).

La D3 supérieure (fig. 5):

le crochet est simple; la crista est simple à triple; absence d'anticrochet; absence de cingulum lingual mais présence du cingulum mésial; la médifossette est presque fermée; étranglement du protocône fort; le profil de la muraille, très peu ondulé, présente un net pli du paracône (fig. 6).

La D4 supérieure (fig. 5):

le crochet est simple; la crista est digitée tandis qu'elle paraît absente chez *S. hundsheimensis* (Lacombat, 2005); absence d'anticrochet; absence de cingulum lingual (hormis une petite digitation) mais présence du cingulum mésial; la médifossette est ouverte tandis qu'elle est

		D1				D2				D3				D4				M1				
		Shu	Sk	Sh	Ca	Shu	Sk	Sh	Ca	Shu	Sk	Sh	Ca	Shu	Sk	Sh	Ca	Shu	Sk	Sh	Ca	
Profil	convexe	X	X	X																		
	en "V" inversé				X	X	X	X														
	ondulé						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X ¹	X ²	X		
	net pli médian				X		X	X														
	pli paracône								X	X	X	X*	X	X	X	X*	X	X	X	X	X	X
	pli métacône fort											X				X						X
Crista	tjrs présente	X	X	NR	NR	X		X	X			X			X							
	svt présente					X			X	X	X		X				X	X	NR	NR		
	parfois présente													X								
	parfois multiple					X		X	X	NR	NR	NR	X				X	X				
Crochet	tjrs présent	X	X	NR	NR	X		X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	NR	
	svt présent					X							X									
	parfois multiple					X		X				X					X		X			
Médifossette	tjrs fermée		X		X			X								X						
	souvent fermée	X		X		X	NR	X		X		X										
	parfois fermée									X	X		X		X		X	X	X			
	jamais fermée													X								X
	Waziers ouverte																					
Cingulum interne	tjrs présent	X	NR	X	NR																	
	souvent présent					X	NR	X	X	X			X									
	parfois présent									X	X	NR		NR	X	X				X	X	
	Waziers absent																					
Etranglement du protocône	tjrs présent				X									X								
	souvent présent								X	X	X	NR	X		X	X	X	NR	X			
	parfois présent			X		X	X	X														
	absent																					X

Tab. 2: Caractéristiques morphologiques des dents supérieures du rhinocéros de Waziers, le Bas-terroir comparées à celles des espèces présentes au Chibanién et supérieur.

Shu: *Stephanorhinus hundsheimensis*; Sk: *Stephanorhinus kirchbergensis*; Sh: *Stephanorhinus hemitoechus*; Ca: *Coelodonta antiquitatis*. X: critères constatés par Cl. Guérin (1980); X*: pli du paracône entouré de deux sillons verticaux; X1: ondulations molles donnant une allure plate au profil; X2: très fortement ondulé; NR: non renseigné; zones grisées: caractère constaté sur l'individu de Waziers.

Tab. 2: Morphological characteristics of the upper teeth of the Waziers rhinoceros, Bas-terroir, compared to those of species present in the Middle and Upper Pleistocene. Shu: *Stephanorhinus hundsheimensis*; Sk: *Stephanorhinus kirchbergensis*; Sh: *Stephanorhinus hemitoechus*; Ca: *Coelodonta antiquitatis*. X: criteria noted by Cl. Guérin (1980); X*: fold of the paracone surrounded by two vertical furrows; X1: soft undulations giving a flat appearance to the profile; X2: very strongly undulated; NR: not known; shaded areas: character observed on the individual of Waziers.

toujours fermée chez *C. antiquitatis* (Guérin, 1980); étranglement du protocône fort; le profil de la muraille, très peu ondulé, présente un net pli du paracône (fig. 6).

La M1 supérieure (fig. 7):

le crochet est simple; absence de crista; une digitation au centre de la médifossette est à noter;

absence d'anticrochet; absence de cingulum lingual mais présence du cingulum mésial; la médifossette est ouverte; étranglement du protocône fort.

L'étranglement du protocône est souvent présent chez *S. etruscus* et chez *S. hemitoechus* mais devient rare pour *S. hundsheimensis*. Il est non documenté chez *S. kirchbergensis* (Lacombat, 2005) et est absent chez *C. antiquitatis* (Guérin, 1980). Il est toutefois nettement moins marqué que pour *S. etruscus* (Pandolfi & Petronio, 2011). Le profil de la muraille, relevé à 3 cm au-dessus du collet à l'aide d'un conformateur, est accentué et le pli du paracône est saillant (fig. 6). Ce relief écarte lui aussi *S. kirchbergensis* dont le profil est presque plat, au mieux une succession de très légères ondulations, ainsi que *S. hundsheimensis* au pli du paracône large et peu saillant, tandis qu'il est petit et net chez *S. etruscus* et fortement ondulé chez *S. hemitoechus*, le pli du paracône constituant l'ondulation la plus forte (Guérin, 1980 ; Lacombat, 2005). Ce paracône est très saillant chez *S. hemitoechus* par rapport à toutes les autres espèces (Pandolfi & Petronio, 2011), ce qui s'observe bien pour la M1 du rhinocéros de Waziers.

L'aspect de l'émail, la faible importance du ciment ainsi que l'ouverture de la médifossette des D1 et D4 écartent d'emblée *Coelodonta antiquitatis* (Guérin, 1980). La muraille des déciduales présente un profil en adéquation avec ce qui est documenté sur les espèces

du genre *Stephanorhinus* (Fortelius *et al.*, 1993), tandis que le profil de l'ectoploche très marqué de la M1, au pli du paracône saillant, exclut *S. kirchbergensis* et *S. hundsheimensis* (Lacombat 2005).

Toutefois, les données biométriques demeurent très élevées (tab. 3). Celles-ci ont été prises en mesure maximale, l'état des dents non usées le permettant, même s'il est plutôt courant, afin d'éviter le biais lié à l'usure de la dent, de prendre ces dimensions au collet, ce qui introduit de fait une surévaluation des dimensions par rapport à certaines populations (van der Made, 2010). Le diamètre méso-distal de la D4 pourrait correspondre avec les mesures connus chez *S. etruscus* tandis qu'il est un centimètre plus élevé que la moyenne enregistrée chez *S. hemitoechus* (tab. 4). Les dimensions entrent par contre très bien dans les valeurs de celles de *S. kirchbergensis*. La présence d'un rhinocéros de prairie aux dents témoignant d'un animal plus robuste que la moyenne est toutefois un élément déjà signalé dans plusieurs sites. Il semble ainsi que l'histoire phylogénique de l'espèce passe par au moins deux stades chronologiques: les formes anciennes du Chibanien étant gracile, par rapport à la forme évoluée bien plus robuste qui semble être identifiée à l'extrême fin de cette période et devenant ensuite typique du Pléistocène supérieur (Uzunidis-Boutilliers, 2017). Cette interprétation plaiderait donc pour que le rhinocéros de prairie de Waziers corresponde à la forme robuste du Pléistocène supérieur.

Les données biométriques ne permettent pas à elles seules de distinguer ici *S. hemitoechus* de *S. etruscus*, mais elles pourraient témoigner de la présence de la forme robuste du rhinocéros de prairie. L'examen de la morphologie des dents supérieures du maxillaire du rhinocéros de Waziers correspond à celle décrite pour le rhinocéros de prairie. Par ailleurs, compte-



Fig. 7: Waziers, le Bas-Terroir 2014 – Bourgeon encore non fonctionnel de la première molaire supérieure gauche du rhinocéros (US5b, 7).

Vue occlusale (photo S. Louguet).

Fig. 7: Waziers, Bas-Terroir 2014 - Non-functional left upper first molar of a rhinoceros (US5b, 7). Occlusal view (photo S. Louguet).

dents droites	L	l	h
dp1	24,3	21,1	
dp2	40,7	38,6	
dp3	46	50,6	
dp4	58,3	53,4	
M1	61,6	55,5	66,8

dents gauches	L	l	h
dp1	23,9	22	
dp2	39,5	38,9	
dp3	48,3	50,8	
dp4	58	54,3	
M1	62,2	63,2	72,6

Tab. 3: Biométrie des dents supérieures du rhinocéros de Waziers, le Bas-Terroir.

L: diamètre méso-distal maximal; l: diamètre vestibulo-lingual maximal.

Tab. 3: Biometry of the upper teeth of the Waziers rhinoceros, the Bas-Terroir. L: maximum meso-distal diameter; l: maximum vestibulo-lingual diameter.

D1/	L	min-max	n	l	min-max	n
Waziers*	24,1	24,3-23,9	2	21,6	21,1-22	2
Europe occ. (<i>S. hund.</i>) ¹	28	25,5-30	8	24,3	21-28	8
Biache (<i>S. hemit.</i>) ²	23,8	21,6-26,7	11	21,7	19,7-23,7	11
Europe occ. (<i>S. hemit.</i>) ¹	25	21-29	10	22,1	20-24,5	9
Europe occ. (<i>S. kirch.</i>) ¹	29	26-32	3	25,3	23-29	3
Weimar-Erhingsdorf (<i>S. kirch.</i>) ⁴	27,1	23,8-28,9	5	22,8	20,4-25	7

D2/	L	min-max	n	l	min-max	n
Waziers*	40,1	40,7-39,5	2	38,8	38,6-38,9	2
Europe occ. (<i>S. hund.</i>) ¹	37,7	34-41	6	36,2	32,5-39	8
Biache (<i>S. hemit.</i>) ²	35,5	31,2-37,9	9	33,5	27,5-36,3	8
Europe occ. (<i>S. hemit.</i>) ¹	35,4	33-38	16	34,4	30-38,5	22
Europe occ. (<i>S. kirch.</i>) ¹	36,7	34-39,5	7	37,6	31-43	8
Weimar-Erhingsdorf (<i>S. kirch.</i>) ⁴	37,9	36,1-41,2	6	39,9	37,9-41,7	6

D3/	L	min-max	n	l	min-max	n
Waziers*	47,2	46-48,3	2	50,7	50,6-50,8	2
Europe occ. (<i>S. hund.</i>) ¹	42,3	36-46,5	9	41,8	33,5-46,5	11
Biache (<i>S. hemit.</i>) ²	43,3	38,9-45,6	9	42,9	40-45	5
Europe occ. (<i>S. hemit.</i>) ¹	42,9	39-48	22	41,8	39-44,5	25
Europe occ. (<i>S. kirch.</i>) ¹	45,9	41,5-50,5	10	46,9	42-54,5	11
Weimar-Erhingsdorf (<i>S. kirch.</i>) ⁴	46,1	44,4-48,3	3	49,1	44,3-52,3	3

D4/	L	min-max	n	l	min-max	n
Waziers*	58,1	58,3-58	2	53,9	53,4-54,3	2
Europe occ. (<i>S. hund.</i>) ¹	48,6	44-58	12	46,9	43,5-56,5	15
Biache (<i>S. hemit.</i>) ²	48,3	45,7-51,8	5	47,1	43,7-50	5
Europe occ. (<i>S. kirch.</i>) ¹	48	44-51,5	22	46,5	41-56	23
Europe occ. (<i>D. mercki</i>) ¹	52,8	48-57	5	53,2	51-57,5	6

M1/	L	min-max	n	l	min-max	n	h	min-max
Waziers*	61,9	61,6-62,2	2	59,4	55,5-63,2	2	69,7	66,8-72,6
Europe occ. (<i>S. hund.</i>) ¹	53,2	47,5-60	20	56,2	44,5-63,5	28	54,8	45-62
Biache (<i>S. hemit.</i>) ²	52	39,7-58	41	58,9	52,9-63,1	22	65,5	
Europe occ. (<i>S. hemit.</i>) ¹	54,7	48-63,5	47	58,3	52,5-65	53	63,5	56-68
Maastricht-B 3C (<i>D. hemit.</i>) ³	50,3	50-50,6	2	64,8	64-65,5	2		
Europe occ. (<i>S. kirch.</i>) ¹	57,3	48,5-63,5	12	62,2	55-68	21	62,1	61-64
Biache (<i>S. kirch.</i>) ²	53,4	50,6-57,7	3	63,8	63,2-64,8	3		
Weimar-Erhingsdorf (<i>S. kirch.</i>) ⁴	55,4	50,3-67,6	8	65,9	62-70,2	13		

Tab. 4 : Données biométriques des dents supérieures du rhinocéros de Waziers, le Bas-Terroir comparées à celles des rhinocéros d'Europe du Nord-Ouest au Chibanien et supérieur.

L: diamètre méso-distal maximal; l: diamètre vestibulo-lingual maximal; n: échantillon; *: moyenne des dents droites et gauches. Mesures en millimètres (1: Guérin, 1980; 2: Auguste, 1995; 3: Kolfshoten van 1990; 4: Kahlke 1975).

Tab. 4: Biometric data of the upper teeth of the Waziers rhinoceros, Bas-Terroir compared to those of north-western European rhinoceroses in the Middle and Upper Pleistocene. L: maximum meso-distal diameter; l: maximum vestibulo-lingual diameter; n: sample; *: average of right and left teeth. Measurements in millimeter (1: Guérin, 1980; 2: Auguste, 1995; 3: Kolfshoten van 1990; 4: Kahlke 1975).

tenu du contexte chronostratigraphique, *S. etruscus* et *S. hundsheimensis* disparaissant avant 500 000 ans, l'attribution à *S. hemitoechus* semble dans l'état actuel des données la plus logique. Par ailleurs, la présence de ce robuste rhinocéros de prairie au sein de l'US5 et son attribution à l'Eemien est cohérente avec l'état des connaissances sur ce taxon montrant que dès le tout début du Pléistocène supérieur, cette forme est identifiable. Tous ces éléments convergent donc vers l'identification à Waziers d'un *S. hemitoechus* caractéristique du Pléistocène supérieur.

Compte tenu des stades de première usure des trois premières dents déciduales, de l'éruption commençante de la quatrième déciduale et de la présence du bourgeon de la première molaire, il est possible d'attribuer un âge à la mort de l'animal proche d'un an (Louguet-Lefebvre 2005), soit une mort à la fin du printemps.

- le cheval (*Equus achenheimensis* Nobis, 1971), avec six restes provenant de trois unités (US4a, 6 et 7a). Ce taxon est surtout représenté par plusieurs éléments crâniens, en l'occurrence une série dentaire supérieure droite allant de la deuxième prémolaire à la deuxième molaire, avec 3 incisives du même côté (fig. 8). C'est le seul animal présent dans les unités les plus basses correspondant à la fin du Saalien. Une étude comparative de ces dents a été réalisée afin d'affiner le rapprochement du cheval de Waziers avec les formes connues de la fin du Chibanien (nouvelle dénomination du Pléistocène moyen, devenu obsolète; Sukanuma *et al.*, 2021) et le début du Pléistocène supérieur.

La morphologie de ces dents supérieures est typiquement caballine, elle exclue les chevaux de type sténionien : émail épais et très peu plissé; faces vestibulaires du paracône et du métacône très concaves; protocône assez long, séparé en deux lobes par une échancrure médiane, avec le lobe antérieur le plus développé; longueur du protocône peu variable de la face occlusale vers le collet; mésostyle

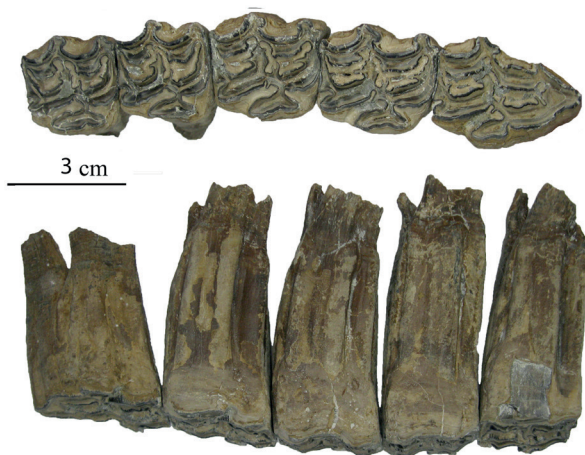


Fig. 8 : Waziers, le Bas-Terroir 2014 – Série dentaire supérieure droite comprenant les trois prémolaires et les deux premières molaires (US4a, 19 et 20).

A: vue occlusale; B: vue vestibulaire (photo N. Sévêque).

Fig. 8: Waziers, Bas-Terroir 2014 - Upper right dental series including the three premolars and the first two molars (US4, 19 and 20). A: occlusal view; B: vestibular view (photo N. Sévêque).

très nettement cannelé sur les prémolaires et peu marqué sur les molaires; parastyle très nettement cannelé sur les prémolaires, peu marqué sur les molaires.

Les données morphométriques de la surface occlusale indiquent des prémolaires assez massives, et des molaires moins robustes. Les mesures ont été prises sur la surface occlusale, en ne tenant pas compte du cément. Les indices protoconiques, longueur du protocône / longueur de la face occlusale, pris au niveau de l'émail, sont peu importants pour les deux types de dents, caractéristiques de protocônes peu développés (tab. 5).

La comparaison avec des chevaux de la fin du Saalien (MIS 7 et 6) et de l'Eemien (MIS 5.e) permettent de rapprocher le cheval de Waziers de l'une des formes déjà identifiées (tab. 5). Il apparaît ainsi que le cheval de Waziers présente des indices protoconiques peu élevés sur ses prémolaires en comparaison des chevaux eemiens comme l'*Equus taubachensis* des travertins interglaciaires eemiens du site éponyme (Bratlund, 1999), mais aussi l'*Equus* cf. *taubachensis* identifié à Caours dans le niveau 1 correspondant à l'optimum climatique (Antoine *et al.*, 2006 & données inédites). Le même constat s'observe également pour les molaires. Par contre cette tendance se rencontre bien chez les chevaux fin-saaliens comme à Biache-Saint-Vaast et Romain-la-Roche (Boulbes, 2010), l'espèce étant dans les deux cas attribuée à *Equus achenheimensis* décrit dans les loess anciens du site d'Achenheim (Nobis, 1971): Loess Anciens Inférieurs (LAI), Loess Anciens Moyens (LAM) et Loess Anciens Supérieurs (LAS). Les deux derniers loess correspondent aux MIS 7 à 6. Une autre espèce caballine est présente à la fin du Chibanien, le cheval de Steinheim, *Equus steinheimensis*. Cette forme se caractérise en particulier par des dents de taille modeste. La morphologie de la surface occlusale montre un sillon lingual très peu marqué, ce qui traduirait une marque d'archaïsme chez ce cheval. Il a été identifié par exemple à Chatillon-Saint-Jean et les Loess Anciens d'Achenheim (Guérin, 1996), mais surtout déjà reconnue régionalement dans la vallée de la Somme dans les niveaux supérieurs de Cagny-l'Épinette (Auguste, 2009). La morphologie dentaire du cheval de Waziers diffère bien de celle du cheval de Steinheim. Nous attribuons donc, sous réserve de nouvelles données, le cheval de Waziers provenant des unités stratigraphiques inférieures à *E. achenheimensis*.

- l'ours brun (*Ursus arctos* Linné, 1758), avec deux restes dans les US5d et US6. Seuls deux os ont été identifiés, un cunéiforme et une vertèbre cervicale.

- la loutre (cf. *Aonyx antiqua* de Blainville, 1841), avec une seule pièce dans l'unité 5b. Un tibia complet a ainsi pu être attribué à la loutre. Il est délicat de proposer une attribution spécifique pour cette loutre, deux espèces étant connues à la fin du Chibanien et au Pléistocène supérieur. La loutre commune (*Lutra* sp.) est toutefois apparemment plus rare que la loutre antique (*Aonyx antiqua*) en France septentrionale, elle est présente par exemple à Biache-Saint-Vaast au début du stade isotopique 7 et à Caours durant le stade isotopique 5e (Auguste, 2009). Nous

4 - DISCUSSION

Waziers	Loc	loc	Lpoc	Indpoc
P2	41,5	28,9	10,9	26,26
P3	32,1	29,6	14,8	46,11
P4	32,8	28,8	14,4	43,9
M1	26,8	28,2	13,8	46,01
M2	26,7	26	14,6	54,68

	Loc	loc	Lpoc	Indpoc
Waziers P2	41,5	28,9	10,9	26,26
Romain-la-Roche (1)	41,1	26,9	9,9	24,4
Biache-Saint-Vaast (2)	38,9	27,1	9,8	25,2
Taubach (3)	40,4	26,9	10	24,8

Waziers P3-P4				
Romain-la-Roche (1)	32,4	29,2	15,1	45
Biache-Saint-Vaast (2)	31,9	29,4	14,2	44,6
Taubach (3)	31,3	28,4	14,1	44,6
Caours	30,2	29,4	14,3	47,7
	31,4	30,1	14,6	46,5

Waziers M1-M2				
Romain-la-Roche (1)	26,7	27,1	14,7	50,3
Biache-Saint-Vaast (2)	28,2	27,6	14	49,8
Taubach (3)	28,2	27,7	14,2	50,2
Caours	27,4	27,6	14,7	53,6
	26,9	26,2	14	52

Tab. 5: Biométrie des dents supérieures du cheval de Waziers, le Bas Terroir, et comparaison avec des chevaux de la fin du Chibanien et du début du Pléistocène supérieur.

Mesures en millimètres (1: Boulbes, 2010; 2: Auguste, 1995; 3: Kahlke, 1975).

Tab. 5: Biometry of the upper teeth of the Waziers horse, Bas Terroir, and comparison with late Middle Pleistocene and early Upper Pleistocene horses. Measurements in millimeter (1: Boulbes, 2010; 2: Auguste, 1995; 3: Kahlke, 1975).

rapprochons pour l'instant la loutre de Waziers à *Aonyx antiqua* sous réserve de comparaison ou de découverte de nouveaux fossiles.

- le castor (*Castor fiber* Linné, 1758), avec dix occurrences au sein de 5 unités, US5a, 5b, 5d, 5e et 6. Cet animal est assez bien présent à Waziers, avec la découverte d'une bonne partie d'un squelette d'un jeune individu associé avec des restes de tortue au sein de l'unité US5e, ainsi que de plusieurs vestiges dentaires et osseux (fig. 9A, B, C, D). Bien évidemment, son impact majeur à Waziers est la découverte exceptionnelle de constructions en bois végétal qui ont pu se conserver et évoqueraient soit un barrage, soit une hutte, et l'identification très nette des marques des incisives des castors sur de très nombreux bois (fig. 9E, F, G, H, I).

- des vestiges osseux attribuables à un grand herbivore et à un petit mammifère ont été découverts à Waziers, avec respectivement treize et deux restes dans les unités US5b, 5e et 6. Des fragments d'os long, de crâne, de vertèbres, de mandibules et de côtes n'ont pu être déterminés spécifiquement, mais ils sont aisément rapportables à un des grands herbivores identifiés à Waziers, aurochs ou cheval. Un fragment de coxal d'un jeune animal indique la présence d'un jeune mammifère de petite taille, là aussi pouvant être attribué à un taxon déjà présent (castor, loutre).

- des vestiges d'oiseaux, de rongeurs et de tortue ont également été découverts en association avec la mésofaune et la macrofaune mammalienne de Waziers (Lebreton *et al.*, accepté).

Enfin, 21 restes non déterminés provenant de sept unités stratigraphiques compètent l'inventaire du matériel faunique découvert à Waziers lors des fouilles 2014 et 2015. Il s'agit de fragments non diagnostiques de côtes, de vertèbres, de crânes, d'os longs et d'os non anatomiquement déterminables.

Les spectres fauniques des vertébrés mis au jour à Waziers apparaissent extrêmement intéressants, tant d'un point de vue chronologique qu'environnemental. Il est à noter que, malgré le faible nombre de restes découverts, entraînant de fait une nécessaire prudence quant aux attributions spécifiques sur un seul individu (cheval et rhinocéros), la répartition des espèces au sein des différentes unités stratigraphiques n'est pas aléatoire et permet d'apporter des renseignements concernant la position bio-stratigraphique de ce matériel et l'évolution des paysages.

Ainsi, l'unité US4 se caractérise par la seule présence du cheval. Celui-ci semble pouvoir être rapporté à *Equus achenheimensis*, le cheval décrit dans les Loess Anciens d'Achenheim, (LAI, LAM) et de plus en plus identifié dans des sites datant des MIS 7 et 6 (Boulbes, 2010). Il est présent sous un climat plus ou moins tempéré soit plus froid, mais ne semble pas être adapté à une phase glaciaire intense. Il ne se rencontre pas durant les optimums tempérés non plus. Sa position au sein de l'unité US4 est donc cohérente, cette unité se rapportant à la fin de la glaciation fin-saaliennne dans un paysage en mutation annonçant l'entrée dans l'interglaciaire (Deschodt *et al.*, 2022), avec toutes les données obtenues par la palynologie (Gauthier, 2022), la malacologie (Limondin-Lozouet, 2022) et la microfaune (Lebreton *et al.*, accepté).

L'unité US5 a livré un cortège faunique assez riche, avec au moins 9 taxons mammaliens dont 8 de méso et macrofaune, mais également des oiseaux et la tortue. Toutes les espèces identifiées se rencontrent quasi-essentiellement durant les périodes tempérées de la fin du Chibanien et du début du Pléistocène supérieur, et uniquement durant les interglaciaires sous cette forme d'association (Auguste, 2009). Le milieu se traduit par des paysages mixtes largement dominés par la forêt mais avec potentiellement des espaces découverts de type prairie. Le milieu aquatique domine. Son rattachement au dernier Interglaciaire est très pertinent, la faune identifiée dans l'unité US5 à Waziers se rapprochant beaucoup de l'assemblage eemien de Caours (Antoine *et al.*, 2006 ; Auguste, 2009). Des différences notables sont toutefois observables, avec l'absence du sanglier et du daim à Waziers et la prédominance de l'aurochs sur les cervidés, ces derniers étant très majoritaires à Caours. Ce constat s'explique très probablement plus par des aspects topographiques et taphonomiques et la localisation de la zone de fouille: en zone exondée à Caours et au cœur du site d'abattage, permettant la récolte d'une plus grande quantité de vestiges et d'un nombre plus élevé de taxons identifiés; en zone aquatique à Waziers et en zone périphérique du site d'occupation situé sur la berge, n'offrant que quelques vestiges mammaliens retrouvés dans la rivière et une moins grande opportunité d'avoir accès au registre des espèces présentes dans l'environnement.

L'unité US6 montre la présence des taxons à affinités tempérées, et dans une moindre mesure ceci s'observe



Fig. 9 : Barrage ou hutte de castor mis au jour lors de la fouille programmée de Waziers, le Bas-Terroir en 2015.

(A) Vue de la fouille en cours du barrage ou de la hutte de castor avec localisation des clichés B, C et D. (B) Vue de détail des bois constituant le barrage ou la hutte de castor. (C et D) Vues d'un amas osseux mis au jour au sein de l'amas de bois comportant un squelette presque complet d'un jeune castor et de quelques restes de tortue. (E et F) Vue globale et de détail d'un bois appointé trouvé au sein de l'amas de bois. (G à I) Vues d'un bois appointé par un castor trouvé au sein de l'amas de bois. Clichés : A & B – Luc Vallin ; C & D – David Hérisson ; E, F, G & I – Pierre Antoine ; H – Laurent Deschodt. DAO : David Hérisson.

Fig. 9: Beaver dam or lodge uncovered during the programmed excavation of Waziers, le Bas-Terroir in 2015. (A) View of the ongoing excavation of the beaver dam or lodge with location of photos B, C and D. (B) Detail view of the woods forming the beaver dam or lodge. (C and D) Views of a bones heap excavated under the woods heap including an almost complete skeleton of a young beaver and some turtle remains. (E and F) Global and detail view of a pointed wood found within the woods heap. (G to I) Views of a pointed wood recovered within the woods heap. Photos: A & B – Luc Vallin ; C & D – David Hérisson ; E, F, G & I – Pierre Antoine ; H – Laurent Deschodt. CAD : David Hérisson.

dans l'unité US7. Le problème d'interprétation de la faune présente dans ces unités est qu'elle est considérée comme remaniée et en position secondaire, les vestiges provenant des unités sous-jacentes eemien, les US5 (Deschodt *et al.*, 2022).

L'évolution de la méso et macrofaune mammalienne de Waziers est donc en parfaite cohérence avec les conclusions apportées par les spécialistes des autres disciplines, la stratigraphie (Deschodt *et al.*, 2022), la malacologie (Limondin-Lozouet, 2022), la palynologie (Gauthier, 2022), la microfaune (Lebreton *et al.*, acceptée) et les reconstitutions des paléotempératures (Maréchal *et al.*, 2022).

5 - CONCLUSION

Les fouilles menées à Waziers au lieu-dit le Bas-terroir en 2014 et 2015 ont permis la découverte de 151 vestiges de vertébrés localisés au sein de quatre grandes unités stratigraphiques. L'unité US4 correspondant à la fin de la glaciation saaliennne n'a livré qu'un cheval mais celui-ci a toutefois pu être rapporté au cheval d'Achenheim caractéristique de cette période couvrant les MIS 7 et 6. L'unité US5 représentée par plusieurs tourbes interglaciaires de l'Eemien constitue l'apport essentiel de la méso et macrofaune identifiée à Waziers, avec l'aurochs, le chevreuil, le rhinocéros de prairie, l'ours brun, la loutre et le castor. Malgré la taille réduite de l'échantillon étudié, il apparaît ainsi la mise en évidence d'une association faunique cohérente, pouvant sans problème être intégrée au sein de l'Interglaciaire eemien. Régionalement, une comparaison avec la faune des niveaux 3 à 1 de Caours, tous formés durant l'Eemien, est justifiée, même si le nombre de vestiges limite à Waziers une identification totale entre les deux sites. Il n'en ressort pas moins que Waziers constitue le deuxième jalon régional permettant de suivre l'évolution des dynamiques des peuplements mammaliens à la fin du Chibanien et au début du Pléistocène supérieur.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier les deux relectrices de cet article, Camille Daugeard et Antigone Uzunidis, pour leurs remarques et suggestions avisés qui ont permis de l'améliorer.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANTOINE P., LIMONDIN-LOZOUET N., AUGUSTE P., LOCHT J.-L., GALHEB B., REYSS J.-L., ESCUDE E., CARBONEL P., MERCIER N., BAHAIN J.-J., FALGUERES C., VOINCHET P., 2006 - Le tuf de Caours (Somme, France): mise en évidence d'une séquence eemienne et d'un site paléolithique associé. *Quaternaire*, 17 (4), 281-320.
- AUGUSTE P., 1995 - *Cadres biostratigraphiques et paléocéologiques du peuplement humain dans la France septentrionale durant le Pléistocène. Apports de l'étude paléontologique des grands mammifères du gisement de Biache-Saint-Vaast (Pas-de-Calais)*. Thèse de doctorat du Muséum national d'Histoire naturelle de Paris, 724 p.
- AUGUSTE P., 2009 - Évolution des peuplements mammaliens en Europe du nord-ouest durant le pléistocène moyen et supérieur. Le cas de la France septentrionale. *Quaternaire*, 20 (4), p. 527-550.
- BOULBES N., 2010 - Le cheval de Romain-la-Roche, *Equus achenheimensis* (Mammalia, Perissodactyla). Contribution à la biochronologie des équidés caballins au Pléistocène moyen. *Revue de Paléobiologie*, 29 (2), 747-770.
- BRATLUND B., 1999 - Taubach revisited. *Sonderdruck aus Jahrbuch des Romisch-germanischen Zentralmuseums*, 46, p. 61-174.
- DESCHODT L., ANTOINE P., JAMET G., PETITE Y., HÉRISSON D., COUTARD S. & LIMONIN-LOZOUET N., 2022 - Waziers (Plaine de la Scarpe, Nord de la France): synthèse lithostratigraphique des observations effectuées de 2011 à 2015. *Quaternaire*, 33 (4), 247-272.
- FORTELIUS M., MAZZA P., & SALA B., 1993 - *Stephanorhinus* (Mammalia, Rhinocerotidae) of the western European Pleistocene, with a special revision of *Stephanorhinus etruscus* (Falconer, 1868). *Palaeontographia italiana*, 80, 63-155.
- GAUTHIER A., 2022 - Dynamique de la végétation et changements environnementaux en réponse aux variations climatiques de la fin du Saalien à l'Eemien: résultats de l'analyse palynologique. *Quaternaire*, 33 (4), 291-299.
- GUÉRIN C., 1980 - Les rhinocéros (Mammalia, Perissodactyla) du Miocène terminal au Pléistocène supérieur en Europe occidentale. Comparaison avec les espèces actuelles. *Documents des laboratoires de géologie de Lyon*, 79, (1-2-3), 1185 p.
- GUERIN C., 1996 - Famille des Équidés. In C. Guérin & M. Patou-Mathis dir. "Les grands mammifères plio-pléistocènes d'Europe", Masson, Paris, p. 121-136.
- HÉRISSON D., DESCHODT L., ANTOINE P., LOCHT J.-L., LACROIX S., SERGENT A., PETITE Y., VALLIN L., RORIVE S., SIMON F., NOÛS C., 2022 - Waziers, Le Bas-Terroir: historique de dix années de recherches archéologiques et géomorphologiques dans un marais pléistocène de la plaine de la Scarpe (2011-2021). *Quaternaire*, 33 (4), 225-246.
- KAHLKE H.D., 1975 - Die Rhinocerotiden-Reste aus den Travertinen von Weimar-Ehringsdorf. p. 337-391. *Abhandlungen des Zentralen Geologischen Instituts, Paläontologische Abhandlungen*, 23, 337-397.
- KOLFSCHOTEN T. VAN, 1990 - The Evolution of the Mammal fauna in the Netherlands and the Middle Rhine area (Western Germany) during the late Middle Pleistocene. *Mededelingen Rijks Geologische Dienst*, 43 (3), 69 p.
- LACOMBAT F., 2005 - Les rhinocéros fossiles des sites préhistoriques de l'Europe méditerranéenne et du Massif Central. *Paléontologie et implications biochronologiques. British Archaeological Reports International Series*, 1419, 175 p.
- LEBRETON L., STOETZEL E., & BAILLON S., accepté - Waziers, Le Bas-Terroir: Les petits vertébrés et reconstitution de l'environnement local. *Quaternaire*.
- LIMONDIN-LOZOUET N., 2022 - Waziers (Plaine de la Scarpe, Nord de la France): données malacologiques. *Quaternaire*, 33 (4), 301-310.
- LOUGUET-LEFEVRE S., 2005 - Les mégaherbivores au Paléolithique moyen en Europe du Nord-Ouest: paléocéologie, taphonomie et aspects paléontologiques. *British Archaeological Reports International Series*, 1451, 357 p.
- MADE (VAN DER), J., 2010 - The rhinos from the Middle Pleistocene of Neumark-Nord (Saxony-Anhalt). *Veröffentlichungen des Landesamtes für Archeologie*, 62, 432-527.
- MARÉCHAL C., LÉCUYER C., AMIOT R., FOUREL F., ANTOINE P., AUGUSTE P., DESCHODT L. & HÉRISSON D., 2022 - Waziers (France): les isotopes de l'oxygène des dents de grands mammifères pour reconstruire les paléotempératures de l'avant-dernière transition glaciaire/interglaciaire (SIM 6/5). *Quaternaire*, 33 (4), 323-339.
- NOBIS G., 1971 - Vom Wildpferd zum Hauspferd: Studien zur Phylogenie pleistozäner Equiden Eurasiens und das Domestikationsproblem unserer Hauspferde. *Fundamenta. Monographien zur Urgeschichte*, Reihe B, 6, 96 p.
- PANDOLFI L., PETRONIO C. 2011 - *Stephanorhinus etruscus* (Falconer, 1868) from Piro Nord (Apricena, Foggia, Southern Italy) with notes on the late Early Pleistocene rhinoceroses of Italy. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 117 (1), 173-187.
- SUGANUMA Y., OKADA M., HEAD M.J., KAMEO K., HANEDA Y., HAYASHI H., IRIZUKI T., ITAKI T., IZUMI K., KUBOTA Y., NAKAZATO H., NISHIDA N., OKUDA M., SATOGUCHI Y., SIMON Q., TAKESHITA Y., 2021 - Formal ratification of the Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) for the Chibanian Stage and Middle Pleistocene Subseries of the Quaternary System: the Chiba Section, Japan. *Episodes*, 44 (3), 317-347.
- UZUNIDIS A., 2017 - *Grands herbivores de la fin du Pléistocène moyen au début du Pléistocène supérieur dans le sud de la France. Implications anthropologiques pour la lignée néandertalienne*. Doctorat Aix-Marseille Université, 659 p.

WAZIERS (FRANCE) : LES ISOTOPES DE L'OXYGÈNE DES DENTS DE GRANDS MAMMIFÈRES POUR RECONSTRUIRE LES PALÉOTEMPÉRATURES DE L'AVANT-DERNIÈRE TRANSITION GLACIAIRE/INTERGLACIAIRE (SIM 6/5)

Chloé MARÉCHAL¹, Christophe LÉCUYER¹, Romain AMIOT¹, François FOUREL², Pierre ANTOINE³, Patrick AUGUSTE⁴, Laurent DESCHODT^{3,5} & David HÉRISSEON⁶

RÉSUMÉ

La dernière période interglaciaire (Last Interglacial, LIG, ou Stade Isotopique Marin 5.5, SIM 5.5), comprise entre ≈ 129 et ≈ 116 milliers d'années avant aujourd'hui (ci-dessous ka), est peu documentée, en particulier en domaine continental en raison de la rareté des dépôts attribuables à cette période qui correspond à l'Eemien dans la chronostratigraphie de l'Europe du nord-ouest. Le manque de documentation est encore plus prononcé pour la déglaciation qui précède le LIG, la Transition SIM 6/5 ou Terminaison 2, qui a duré une dizaine de milliers d'années. Dans ce contexte, le site de Waziers, localisé en Europe occidentale (France), présente une séquence exceptionnelle constituée de dépôts successifs fins limono-calcaires couvrant l'avant-dernière déglaciation (SIM 6/5) et des tourbes riches en restes végétaux contemporaines du dernier interglaciaire (SIM 5.5). L'analyse isotopique de l'oxygène du phosphate de l'émail de dents de grands mammifères herbivores (cheval, *Equus sp.*; mégalocéros, *Megaloceros giganteus*; chevreuil, *Capreolus capreolus*) présents dans ces dépôts a permis de reconstituer les paléotempératures de l'air du vivant des animaux. Les résultats donnent des températures moyennes annuelles de $4,7 \pm 0,6^\circ\text{C}$ pour une première phase de la déglaciation (5 dents d'un même individu), de $6,9 \pm 0,5^\circ\text{C}$ pour une phase médiane de la déglaciation (1 dent), et de $8,6 \pm 0,5^\circ\text{C}$ pour une phase précédant l'établissement du dernier interglaciaire, le SIM 5.5 (1 dent). Des artefacts paléolithiques (silex) ont été découverts dans les dépôts contemporains de cette dernière phase - ainsi que dans ceux attribués au SIM 5.5. En accord avec les données palynologiques, les paléotempératures mettent en évidence un réchauffement progressif au cours d'une partie de la transition glaciaire/interglaciaire, la Transition SIM 6/5. L'écart de $\approx 4^\circ\text{C}$ entre la température minimale et la température maximale reconstituées ici permet de minorer l'écart de température entre la période glaciaire SIM 6.2 et la période interglaciaire SIM 5.5 sur le site de Waziers.

Mots clés : Transition glaciaire/interglaciaire, SIM 6/5, Eemien, paléotempératures, isotopes de l'oxygène, phosphates, mammifères, Europe de l'Ouest.

ABSTRACT

WAZIERS (FRANCE): OXYGEN ISOTOPES OF LARGE MAMMAL TEETH TO RECONSTRUCT PALEOTEMPERATURES OF THE PENULTIMATE GLACIAL/INTERGLACIAL TRANSITION (MIS 6/5)

The Last Interglacial (LIG or Marine Isotopic Substage 5.5, MIS5.5), which is comprised between ≈ 129 and ≈ 116 thousand years Before Present (hereafter ky BP), is poorly documented, especially in continental areas, owing to the scarcity of deposits attributable to this period, which corresponds to the Eemian in the chronostratigraphy of northwestern Europe. The scarcity of documentation is even more pronounced for the deglaciation that precedes the LIG, the MIS 6/5 Transition or Termination 2, which lasted about ten thousand years. In this context, the site of Waziers, in Western Europe (France), has an exceptional sequence of successive fine silty-limestone deposits covering the penultimate deglaciation (MIS 6/5) and peat rich in plant remains contemporary with the last interglacial (MIS 5.5). Oxygen isotope analysis of phosphate of tooth enamel from large herbivorous mammals (horse, *Equus sp.*; megaloceros, *Megaloceros giganteus*; roe deer, *Capreolus capreolus*) present in these deposits allows the reconstruction of air paleotemperatures during the lifetime of the animals. The results yield annual mean temperatures of $4.7 \pm 0.6^\circ\text{C}$ for an early phase of the deglaciation (5 teeth of a same individual), of $6.9 \pm 0.5^\circ\text{C}$ for a mid-phase of the deglaciation (1 tooth), and of $8.6 \pm 0.5^\circ\text{C}$ for a phase preceding the establishment of the last interglacial, the MIS5.5 (1 tooth). In deposits contemporary with the latter phase, human artifacts were discovered, as well as in those of MIS5.5. In agreement with the palynological data, the paleotemperatures illustrate a gradual warming during part of the glacial/interglacial transition, the MIS6/5 Transition. The difference of $\approx 4^\circ\text{C}$ between the minimal and maximal temperature reconstructed in this study allows us to minimize the temperature difference between the MIS6.2 glacial period and the MIS5.5 interglacial period at the Waziers site.

Keywords : glacial/interglacial transition, MIS 6/5, Eemian, paleotemperatures, oxygen isotopes, phosphate, mammals, Western Europe.

¹ Univ Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, ENSL, CNRS, UMR 5276 LGL-TPE, FR-69622 Villeurbanne. *Courriels :* chloe.marechal@univ-lyon1.fr; christophe.lecuyer@univ-lyon1.fr; romain.amiot@univ-lyon1.fr

² Univ Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, CNRS, ENTPE, UMR 5023 LEHNA, FR-69622 Villeurbanne. *Courriel :* francois.fourel@univ-lyon1.fr

³ Laboratoire de Géographie Physique, Environnements quaternaires et actuels, UMR 8591 CNRS - Université Paris 1 - UPEC, 2 rue Henri Dunant, FR-94320 THIAIS, FR-92195, Meudon cedex. *Courriel :* pierre.antoin@lgp.cnrs.fr

⁴ Univ. Lille, Evo-Eco-Paleo, UMR 8198 CNRS, FR-59000 Lille, France. *Courriel :* patrick.auguste@univ-lille.fr

⁵ INRAP Hauts-de-France, Centre archéologique de Villeneuve-d'Ascq, 11 Rue des Champs, FR-59655, Villeneuve d'Ascq. *Courriel :* laurent.deschodt@inrap.fr

⁶ CNRS-UMR 7041, ArScAn, MSH Mondes, 21 Allée de l'Université, FR-92023 Nanterre cedex, France. *Courriel :* david.herisson@cnrs.fr

1 - INTRODUCTION

L'avant-dernière transition glaciaire/interglaciaire ou Transition SIM 6/5 (Stade Isotopique Marin 6/5) succède à l'avant-dernière phase glaciaire, le SIM 6 (≈ 185 à ≈ 140 ka, Jouzel *et al.*, 2007), qui s'achève par un maximum glaciaire autour de ≈ 140 ka, le SIM 6.2 (Waelbroeck *et al.*, 2002). Cette phase de transition SIM 6/5 précède la dernière phase tempérée interglaciaire, qui s'ouvre sur la période la plus chaude, le SIM 5.5 (≈ 129 à ≈ 116 ka, Masson-Delmotte *et al.*, 2013; Capron *et al.*, 2017) (Eemien). Les transitions glaciaire/interglaciaire au cours des derniers cycles climatiques sont caractérisées par de grands changements en surface du globe terrestre, en particulier par le retrait des immenses calottes de glace de l'hémisphère nord (Amérique du nord et Eurasie), la montée du niveau marin de plus de 120 mètres (Waelbroeck *et al.*, 2002; Lambeck *et al.*, 2014) et les changements majeurs de biomes et d'assemblages fauniques en milieu marin et continental. En Europe de l'Ouest, par exemple, ces transitions sont marquées par une évolution nette de la végétation depuis un milieu ouvert de toundra vers un milieu forestier (de Beaulieu *et al.*, 2006). L'écart de température moyenne annuelle entre le pic des conditions glaciaires et celui des conditions interglaciaires sur les cinq derniers cycles climatiques a été estimée entre 4°C et 8°C (Otto-Bliesner *et al.*, 2006; Shakun and Carlson, 2010; Snyder *et al.*, 2016; Fischer *et al.*, 2018).

Les études centrées sur l'établissement progressif de la Transition SIM 6/5 sont rares, en particulier en milieu continental. En Europe de l'Ouest, le site de Waziers (France) offre un cadre remarquable pour une telle étude. Le travail présenté ici se situe dans la perspective de caractériser la Transition SIM 6/5 à Waziers. Les dépôts sédimentaires sont en effet exceptionnels car ils couvrent les différentes étapes de cette avant-dernière transition glaciaire/interglaciaire avec une résolution temporelle élevée. Par ailleurs, leur nature a permis une excellente conservation de restes organiques (macro-restes végétaux, graines, bois, ossements de mammifères et d'oiseaux, mollusques, insectes). Enfin, le site est remarquable du fait de la présence avérée de l'Homme de Néandertal à la fois durant la transition glaciaire/interglaciaire SIM 6/5 et durant l'interglaciaire du SIM 5.5 (Hérisson *et al.*, 2022). Notons qu'un autre site remarquable pour l'étude de l'établissement et du développement de l'interglaciaire du SIM 5.5 existe en France septentrionale: il est situé à Caours (Baie de Somme, France), à environ 90 km à l'est de Waziers (fig. 1A). Sur ce site, les dépôts de tuf, comprenant plusieurs niveaux archéologiques, ont déjà livré de nombreuses données pour les reconstitutions paléoclimatiques (Antoine *et al.*, 2006; Dabkowski *et al.*, 2015) et continuent d'être étudiés en détail.

L'étude de la stratigraphie et des bio-indicateurs (palynologie, malacologie) des dépôts de Waziers permet de reconstituer l'évolution climatique et paléoenvironnementale au cours du réchauffement contemporain de cette transition (Gauthier, 2022; Limondin-Lozouet, 2022). Une méthode de reconstitution

du climat, parmi d'autres, repose sur l'analyse de la composition isotopique de l'oxygène du phosphate de dents de certaines espèces de grands mammifères fossiles. Cette méthode permet de reconstituer la température de l'air au moment de la vie de l'animal (Longinelli, 1984; Delgado Huertas *et al.*, 1995; Lécuyer *et al.*, 2021). Elle est particulièrement puissante dans la mesure où elle offre la possibilité de proposer des valeurs bien calibrées pour ces températures. Elle est utilisée ici, en s'appuyant sur les échantillons de dents de mammifères disponibles sur le site de Waziers.

Parmi l'ensemble des fossiles fauniques du site de Waziers, plusieurs dents de grands mammifères appartenant à trois niveaux stratigraphiques distincts, contemporains de la Transition SIM 6/5, et pouvant être exploitées pour la reconstitution des paléotempératures, ont été identifiées. L'objectif de ce travail est de présenter et de discuter les paléotempératures de l'air obtenues au cours de phases successives de la Terminaison SIM 6/5.

2 - SITE D'ÉTUDE

2.1 - LOCALISATION ET CONTEXTE CLIMATIQUE ACTUEL

Waziers est une commune d'Europe occidentale située à 50°23'14"N, 03°06'47"E dans le Nord de la France (région des Hauts de France), à environ 110 km des côtes de la mer de la Manche et à environ 85 km de celles de la Mer du Nord (fig. 1A). Le gisement fossilifère de Waziers, au lieu-dit «Le Bas Terroir», est localisé sur la bordure sud-ouest de la plaine de la Scarpe, à une altitude d'environ 21 m NGF (fig. 1B,C).

La région des Hauts de France est caractérisée par un climat de type océanique tempéré. A Waziers, les précipitations sont de 748 mm en moyenne annuelle (entre 1999 et 2019) et distribuées de façon relativement uniforme au cours de l'année (Climate-data.org, basé sur les données ECMWF). La température, quant à elle, est de 11,0°C en moyenne annuelle sur la période 1999-2019, avec des moyennes mensuelles saisonnières variant de 4,0°C en janvier à 18,6°C en juillet (Climate-data.org). La température moyenne annuelle est typique des moyennes latitudes en milieu continental tempéré dans l'hémisphère nord.

2.2 - LE GISEMENT FOSSILIFÈRE DE WAZIERS

2.2.1 - Intérêt du gisement

Observé une première fois en 2011 puis mis en évidence en 2013 lors d'un diagnostic archéologique, le gisement paléolithique de Waziers a fait l'objet de fouilles programmées de 2013 à 2015, puis en 2017 (pour l'historique des observations et opérations, voir Hérisson *et al.*, 2022). La séquence de dépôts fluviatiles et tourbeux du dernier interglaciaire au site de Waziers correspond au remplissage d'un large paléo-

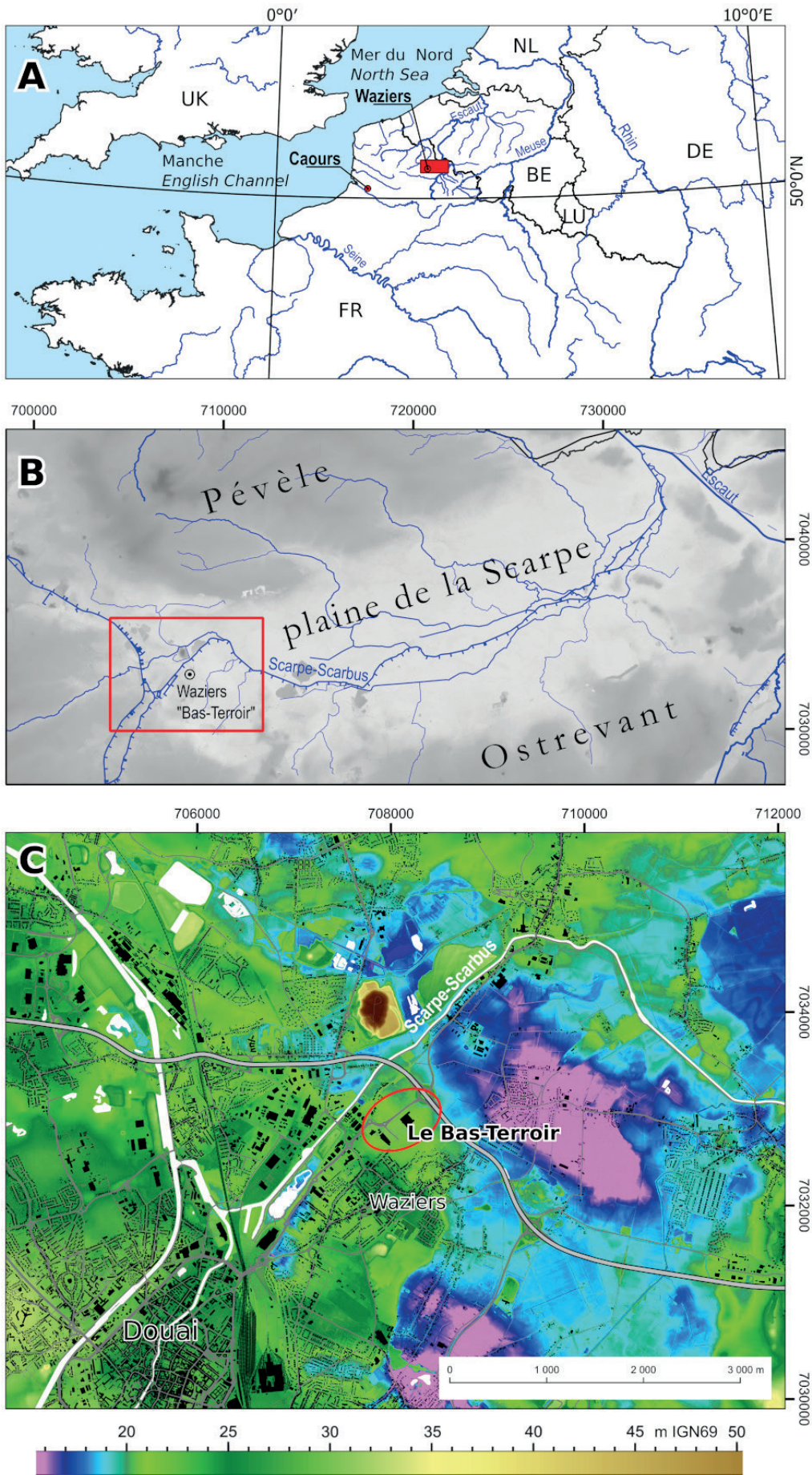


Fig. 1: Localisation du gisement de Waziers «Bas-Terroir» (France).

(A) Localisation de la plaine de la Scarpe en Europe du nord-ouest. Coordonnées UTM. (B) Localisation du gisement de Waziers dans la plaine de la Scarpe. Coordonnées en mètres Lambert 93. (C) Localisation du gisement de Waziers «Bas-Terroir» sur un MNT issu du Lidar Scarpe (Source DREAL).

Fig. 1: Location of the Waziers «Bas-Terroir» deposit (France). (A) Location of the Scarpe Plain in northwestern Europe. UTM coordinates. (B) Location of the Waziers deposit in the Scarpe plain. Coordinates in metres Lambert 93. (C) Location of the Waziers «Bas-Terroir» deposit on a DTM from the Scarpe Lidar (Source DREAL).

méandre localisé sur la bordure sud-ouest de la plaine de la Scarpe (fig. 1B-C) (Deschodt *et al.*, 2022). Cette séquence est constituée de limons organiques carbonatés et de tourbes attribuées à l'avant-dernière transition glaciaire/interglaciaire (SIM 6/5) et à la dernière période interglaciaire (SIM 5.5). Ces dépôts ont été fortement érodés puis préservés par une épaisse couverture de dépôts éoliens périglaciaires (loess) de plus de 3 m d'épaisseur, attribués à la dernière période glaciaire (SIM 4 à 2, ou Weichselien). Les pollens, les bois, les macro-restes végétaux, les mollusques, les restes de mammifères et d'insectes y sont particulièrement bien conservés (Locht *et al.*, 2014; Hérisson *et al.*, 2015, 2017). Enfin, des artefacts (silex taillés dont des éclats Levallois, et des os portant des traces de découpes et de combustion) attestent d'une occupation humaine néandertalienne dans ce lieu à différentes périodes autour du dernier interglaciaire et, à ce titre, font de Waziers un site majeur.

2.2.2 - Stratigraphie

La stratigraphie au droit de la fouille 2014 (d'où provient le matériel étudié) et de la fouille 2015 est synthétisée sur la figure 2 (pour une présentation plus détaillée voir Deschodt *et al.*, 2022). Le substrat géologique du gisement de Waziers est constitué de formations tertiaires (Thanétien) surmontant la craie sénonienne. Au-dessus

de la craie, les niveaux fossilifères sont encadrés par deux types de dépôts grossiers. Le plus ancien (US3, «US» signifiant «Unité Stratigraphique») correspond à un dépôt de nappe alluviale sablo-graveleuse mis en place sous un régime périglaciaire attribué à l'avant-dernière période glaciaire (SIM 6). Ce dernier comprend, en particulier, l'avant-dernier maximum glaciaire (SIM 6.2). Le plus récent consiste en un dépôt nettement érosif (US6) qui ravine les dépôts fossilifères. Ce dépôt est recouvert par des sédiments sablo-craveux (US7a) puis des limons sableux (US7b), enfin des loess (US7c). Les unités US6 et US7 sont attribuées à la dernière période glaciaire (SIM 4 à 2, Weichselien). La transition glaciaire/interglaciaire du SIM 6/5 et la dernière période interglaciaire du SIM 5.5 sont donc enregistrées dans les unités US4 et US5.

L'US4 (fig. 2) est caractérisée par des dépôts fluviatiles fins à dominante minérale. Localement, quand l'unité est bien dilatée, on y distingue cinq sous-unités aux limites diffuses: US4a, les limons gris inférieurs (gris vert); US4b, les limons intermédiaires légèrement organiques (gris brun); US4c, les limons gris supérieurs; US4d, les limons supérieurs légèrement brunâtres; US4e, le limon brun avec des traits pédogénétiques présents sur la seule fouille de 2015 (amorce probable d'une rive).

L'US5 est dominée par des dépôts fluviatiles fins à dominante organique et se divise en cinq sous-unités:

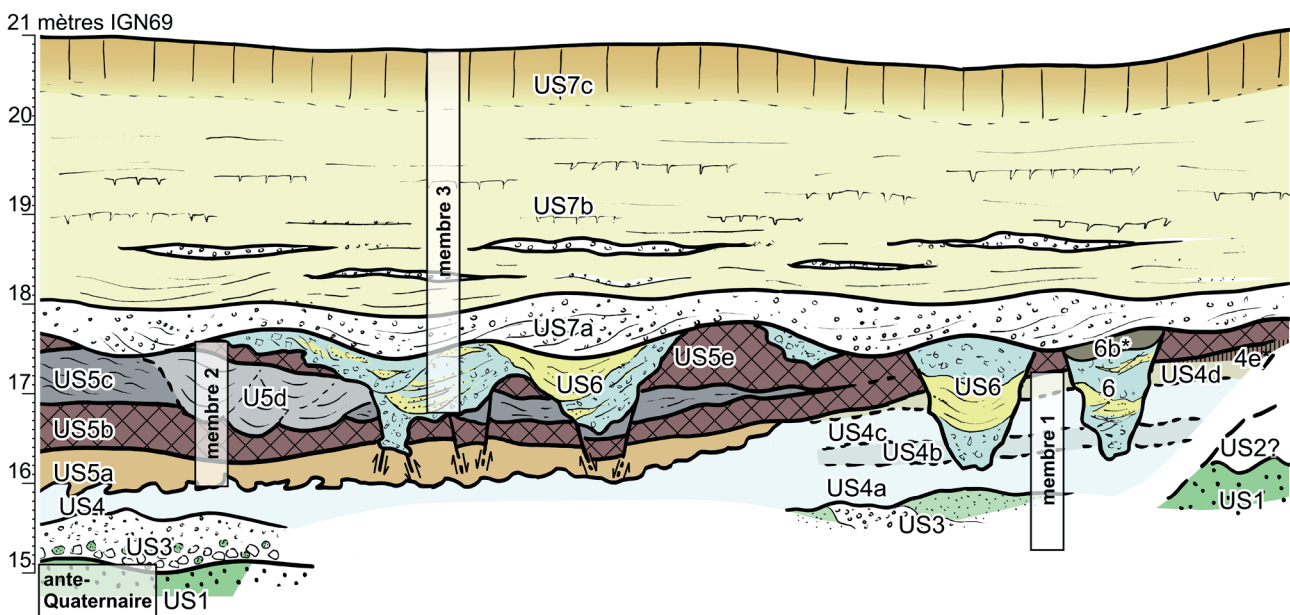


Fig. 2: Synthèse stratigraphique du site de Waziers sur la fouille 2014-2015.

Les unités stratigraphiques (US) sont indiquées pour chaque niveau. US1: Substrat antéquatenaire (sable éocène), US2: Formation de versant, US3: Dépôts grossiers fluviatiles (craie, sable glauconieux, grès glauconieux), US4: Dépôts fluviatiles fins à dominante clastique (4a: Limon gris inférieur, 4b: Limon légèrement organique, 4c: Limon gris supérieur, 4d: Limon brunâtre, 4e: Horizons pédologiques), US5: Dépôts fluviatiles fins à dominante organique (5a: Limon brunâtre inférieur, 5b: Tourbe laminée inférieure, riche en avifaune, 5c: Limon gris laminé, remplissage d'un large chenal, 5d: Limon gris, remplissage de chenaux étroits, 5e: Limon brunâtre supérieur et tourbe, riche en bois et en os de castors), US6: Dépôts fluviatiles remaniés, graviers d'argile et figures thermokarstiques, US7: Dépôts de couverture (7a: Graviers de craie, 7b: Sable et limon lité, 7c: Loess et pédogenèse). *: Unité exclusivement présente sur l'excavation 2015. Les «membres 1 à 3» correspondent à des regroupements d'unités stratigraphiques.

Fig. 2: Stratigraphic synthesis of the Waziers site for the 2014-2015 excavation. The stratigraphic units (US) are indicated for each level. US1: Antequaternary substratum (Eocene sand), US2: Slope formation, US3: Fluvial coarse deposits (chalk, glauconitic sand and glauconitic sandstones), US4: Thin fluvial mainly clastic deposits (4a: Lower grey silt, 4b: Slightly organic silt, 4c: Upper grey silt, 4d: Upper brownish loam, 4e: Soil horizons), US5: Thin fluvial mainly organic deposits (5a: Lower brownish silt, 5b: Lower laminated peat, with rich avifauna, 5c: Laminated grey silt, large channel infilling, 5d: Grey silt, narrow channels infilling, 5e: Upper brownish silt and peat, rich in wood pieces and beavers bones), US6: Reworked fluvial deposit, clayey gravels and thermokarstic figures, US7: Covering deposits (7a: chalk gavel shee, 7b: Bedded sand and silt, 7c: loess and weathering). *: Unit exclusively present on the 2015 excavation. "Members 1 to 3" correspond to groupings of stratigraphic units.

US5a, les limons bruns inférieurs; US5b, la tourbe inférieure (dite tourbe «à canards»); US5c, le limon gris en large chenal; US5d, le limon gris en petits chenaux (qui érodent localement US5b et US5c); US5e, les limons bruns et la tourbe supérieure (dite tourbe «à castors»).

2.2.3 - Environnement des niveaux fossilifères US4 et US5

L'US4 correspond à la zone malacologique locale WZM1 (Limondin-Lozouet, 2022) et aux zones palynologiques locales Waz-1 et Waz-2 (Gauthier, 2022). Biozones et lithologie traduisent un environnement principalement émergé (berge herbeuse et berge sèche) avec une tendance à une stabilisation des dépôts au cours du temps. L'US4 est attribuée à une première phase de période tardiglaciaire (encore appelée transition glaciaire/interglaciaire).

L'US5 est marquée par une sédimentation plus organique (US5a) voire franchement tourbeuse (US5b, US5e) entrecoupée de dépôts fluviaux limoneux (US5c, US5d). Elle correspond à un environnement aquatique (eau calme) attribué à une période de climat plus chaud. Malacologie et palynologie confirment les changements d'environnement et de climat déduits de la lithologie. L'étude palynologique menée à la base de l'ensemble US5 dans l'US5a (palynozone locale Waz-3) et US5b (Waz-4) indique l'établissement d'une végétation aquatique et l'apparition d'arbres pionniers. Bien qu'entrecoupé de quelques niveaux stériles (correspondant aux alluvions clastiques), l'enregistrement malacologique indique une zone dulcicole pour l'ensemble de l'US5 (Ma2) et la présence de berges boisées dans la partie supérieure (US5e, malacozone Ma2b). La présence du gastéropode *Belgrandia marginata* dès la base de l'US5e, puis son développement, implique clairement des conditions interglaciaires. Ainsi les successions US5a à US5e traduisent la fin du tardiglaciaire saalien puis le développement du dernier interglaciaire (Eemien).

3 - MATÉRIEL

3.1 - MATÉRIEL FOSSILE UTILISÉ

3.1.1 - Sélection du matériel

Une très grande variété de restes fauniques (ossements et dents) en excellent état de conservation a été découverte dans les différentes unités du site de Waziers (Auguste *et al.*, 2022). Plus d'une quinzaine de taxons ont pu être identifiés : l'aurochs (espèce la mieux représentée), l'ours brun, le castor, la loutre, divers rongeurs, le chevreuil, le cheval, le rhinocéros de prairie, le cerf élaphe, le mégalocéros, le daim, plusieurs espèces de canards, le cygne, le grand échassier et la tortue. L'extraordinaire état de conservation du matériel fossile végétal (bois, macro-végétaux) mais aussi animal (mammifères,

mollusques, insectes) au sein des sédiments fluviaux du site de Waziers montre que celui-ci n'a subi qu'une altération très marginale, garantissant une exploitation optimale des compositions isotopiques enregistrées dans les dents des vertébrés.

La méthode de reconstitution des paléotempératures utilisée dans ce travail s'appuie (1) sur l'analyse isotopique du phosphate de l'émail dentaire de mammifères ainsi que (2) sur des équations de fractionnement isotopique pour certaines espèces de mammifères, disponibles dans la littérature. Parmi les restes fossiles en place sur la zone fouillée en 2014-2015, seules trois séries d'échantillons appartenant à trois espèces de mammifères satisfont ces deux conditions, dans l'ensemble des niveaux stratigraphiques. Ainsi, seuls trois ensembles de dents bien conservées ont pu être étudiés. Il s'agit d'un ensemble de cinq dents de cheval (*Equus sp.*) provenant d'un même individu dans le dépôt US4, d'une dent de mégalocéros (*Megaloceros giganteus*) en limite US4-US5a, et d'une dent de chevreuil (*Capreolus capreolus*) provenant du dépôt US5b (figs. 2 & 3). Sur le site, ces divers éléments sont distants de plusieurs mètres les uns des autres.

Ces grands herbivores ont des caractéristiques particulières :

- Les chevaux (*Equus sp.*) ont été présents sur de larges zones géographiques en Eurasie et en Amérique du nord au cours du Pléistocène. Les équidés sont adaptés aux environnements ouverts et froids de type toundras, steppes, taïgas, aussi bien qu'aux environnements tempérés de prairies, voire de forêt.

- Les mégalocéros (*Megaloceros giganteus* Blumenbach 1799), parfois appelés «Grands cerfs des tourbières», sont les plus grands cervidés connus et ont été présents sur une grande partie de l'Eurasie durant le Pléistocène. Ces cerfs géants vivaient en milieu ouvert, sec, et froid, de type toundra ou steppe, mais aussi dans des prairies, avant de s'éteindre il y a environ 11 000 ans.

- Les chevreuils (*Capreolus capreolus* Linné 1758) ont colonisé l'Europe et l'Asie au cours du Pléistocène. Ils vivent en milieu fermé, dans des forêts de feuillus ou de forêt mixtes (feuillus et conifères). Ils consomment les feuilles de nombreux arbres feuillus (ex. : chêne, charme, érable) et des graminées. Le chevreuil est une espèce considérée comme pionnière des climats tempérés interglaciaires.

3.1.2 - Position stratigraphique précise et description

3.1.2.1 - WBT19 et 22, cheval (*Equus sp.*), US4c-d

Les cinq dents du cheval (*Equus sp.*) sont des prémolaires et des molaires supérieures provenant du maxillaire d'un même individu, enregistrées sous les numéros WBT19 à WBT22 (figs. 4 & 5). Elles ont été découvertes en connexion anatomique et l'examen des facettes de contact, des stades d'usure et la cohérence de la géométrie de l'arcade dentaire confirment cette appartenance à un même individu (Auguste *et al.*, 2022).

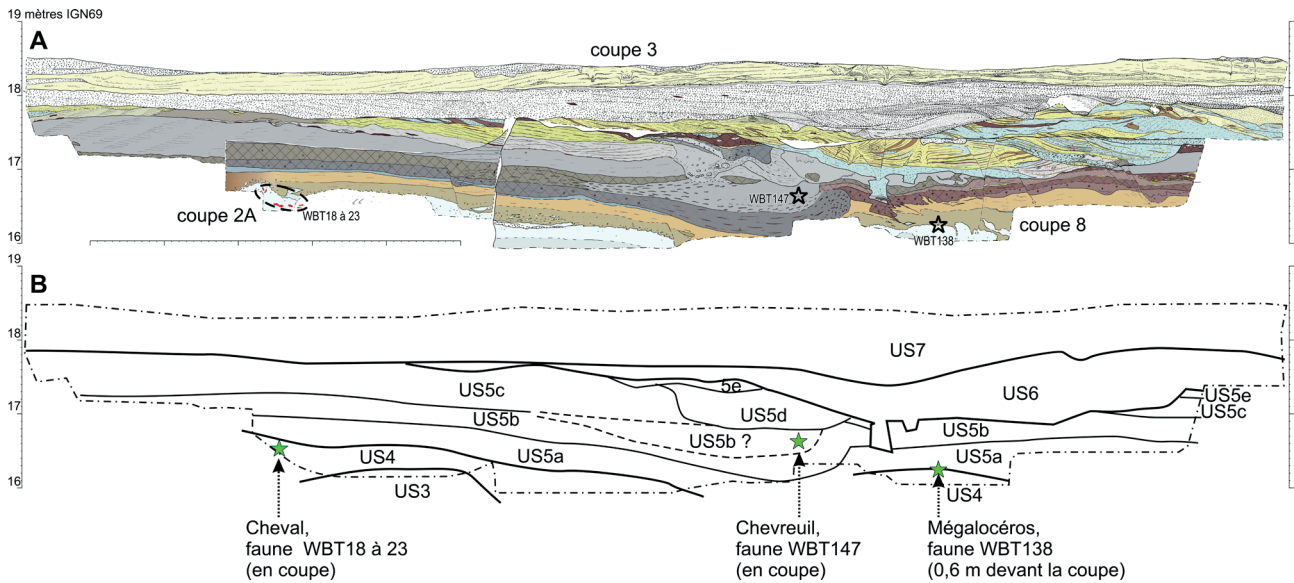


Fig. 3: Position du matériel analysé sur l'assemblage des coupes 2A, 3 et 8, de la fouille 2014-2015.

(A) Coupe stratigraphique synthétique. Les dents analysées en $\delta^{18}\text{O}$ dans cette étude sont indiquées par la zone pointillée correspondant aux restes WBT18 à WBT23 (cheval), l'étoile correspondant à la dent WBT138 (mégaloécéros), et l'étoile correspondant à la dent WBT147 (chevreuil). (B) Coupe schématique des différentes unités stratigraphiques (US). Les étoiles vertes représentent les restes de cheval (de dents et de mandibule WBT18 à 23, dont les cinq dents analysées), la dent de mégaloécéros (WBT138) et la dent de chevreuil (WBT147).

Fig. 3: Position of the analysed material on the assemblage of sections 2A, 3 and 8, from the 2014-2015 excavation. (A) Synthetic stratigraphic section. The teeth analysed in $\delta^{18}\text{O}$ in this study are indicated by the dotted area corresponding to remains of teeth and mandible WBT18 to WBT23 (horse), the star corresponding to tooth WBT138 (megaloceros), and the star corresponding to tooth WBT147 (roe deer). (B) Schematic section of the different stratigraphic units (US). The green stars represent the horse remains (WBT18 to 23, including the five analysed teeth) and the roe deer tooth (WBT147).

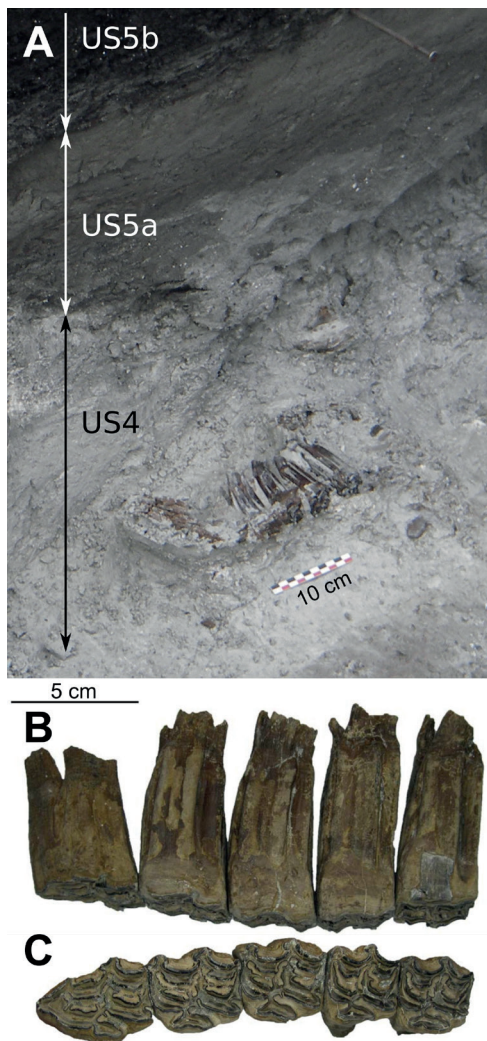


Fig. 4: Os et dents du cheval WBT19 à WBT23.

(A) Os et dents du cheval en place dans l'unité stratigraphique US4c-d de la coupe 2A de Waziers « Bas-Terroir ». La règle posée sous les fossiles mesure 10 cm au total (Locht *et al.*, 2014). (B) Vue vestibulaire et (C) vue occlusale de la série dentaire supérieure droite du cheval comprenant les trois prémolaires et les deux premières molaires (dents WBT19, 22.4, 22.3, 22.2 et 22.1, de gauche à droite) (photos N. Sévêque).

*Fig. 4: Horse bones and teeth of the horse in place in stratigraphic unit US4c-d of Waziers section 2A 'Bas-Terroir'. The ruler placed under the fossils measures 10 cm (Locht *et al.*, 2014). (B) Vestibular view and (C) occlusal view of the upper right dental series of the horse including the three premolars and the first two molars (teeth WBT19, 22.4, 22.3, 22.2 and 22.1, from left to right) (photos N. Sévêque).*

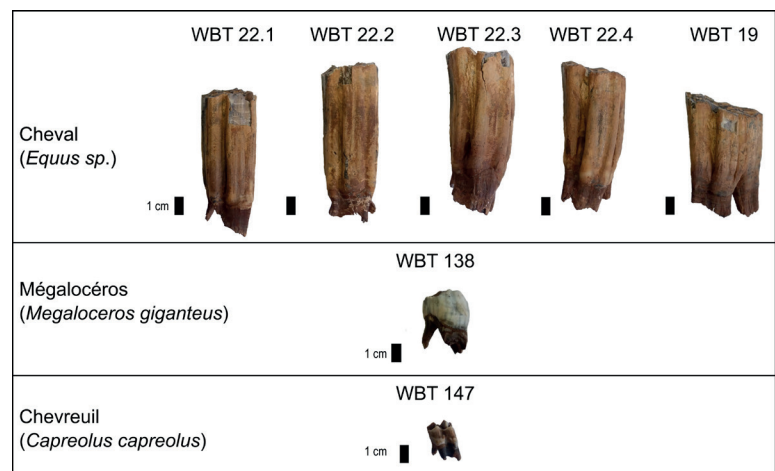


Fig. 5: Photographies des dents de cheval (*Equus sp.*) WBT22.1, WBT22.2, WBT22.3, WBT22.4 et WBT19, de la dent de mégaloécéros (*Megaloceros giganteus*) WBT138, et de la dent de chevreuil (*Capreolus capreolus*) WBT147.

Les vues correspondent à la face linguale. Barres noires verticales: 1 cm.

*Fig. 5: Photos of horse (*Equus sp.*) teeth WBT22.1, WBT22.2, WBT22.3, WBT22.4 and WBT19, megaloceros (*Megaloceros giganteus*) tooth WBT138, and roe deer (*Capreolus capreolus*) tooth WBT147. The views correspond to the lingual side. Black vertical bars: 1 cm.*

Les pièces ont été observées dans la coupe 2A avec une dispersion modérée au sommet de l'US4. Outre des pièces en connexion anatomique (fig. 5), les fragments récoltés ont une dispersion horizontale maximum de 61 cm et verticale de 22 cm (fig. 4). Après la fouille, le recul de la coupe a donné lieu à un nouveau levé utilisé dans l'assemblage des coupes et la synthèse stratigraphique (Deschodt *et al.*, 2022). À cet endroit, l'unité est moins développée qu'au sud-est de l'emprise où ont été définies les sous-unités US4a à US4e. Cependant, les dents sont localisées vers le haut de l'unité US4, à proximité de l'US5 et au-dessus d'une unité un peu plus sombre (coupe 2B, unité de détail «ud»136) qui de proche en proche (coupe 8, «ud»1) peut être corrélée avec la zone de passage plus sombre du log 6 («ud»251) où a été définie l'US4b. Les dents étudiées sont donc postérieures et appartiennent à l'US4c ou à l'US4d.

Les dents WBT22.1 et WBT22.2 sont des molaires supérieures droites M1 et M2. Les dents WBT19, WBT22.3 et WBT22.4 sont des prémolaires supérieures droites P2, P3 et P4, respectivement. Les chevaux ont des dents hypsodontes, avec un taux de croissance dentaire d'environ 4 cm/an (Hoppe *et al.*, 2004).

3.1.2.2 - WBT138, Mégalocéros (*Megaloceros giganteus*), US4-US5a

La dent de mégalocéros (*Megaloceros giganteus*), WBT138, est localisée en limite US4-US5a (pour la projection de la dent sur un levé détaillé, voir fig. 7 Deschodt *et al.*, 2022). C'est une troisième prémolaire supérieure droite (fig. 5). Cette espèce éteinte de grand cervidé possède des dents brachyodontes.

3.1.2.3 - WBT147, Chevreuil (*Capreolus capreolus*), US5b

La dernière dent, WBT147, provient d'un limon alluvial clastique (unité de détail «ud» 11) qui remanie une partie de la tourbe US5b. L'«ud» 11 est distincte toutefois des unités limoneuses US5c ou US5d et est intégrée à l'unité de synthèse US5b (pour la position exacte de la dent sur un levé détaillé, voir fig. 7 Deschodt *et al.*, 2022). WBT147 est une troisième molaire supérieure droite de chevreuil (*Capreolus capreolus*) (fig. 5). La dentition du chevreuil est également brachyodonte. La dent est peu usée, ce qui indique que l'individu était jeune au moment de son décès.

3.2 - DATATION DU MATÉRIEL FOSSILE

Des datations par ESR-U/Th ont été réalisées sur les dents de cheval et de mégalocéros analysées dans cette étude. Les dents du cheval WBT20 du dépôt US4c-d (WBT19, WBT22.1 et WBT22.2) donnent un âge moyen de 128 ± 20 ka ($\pm 2\sigma$), tandis que la dent de mégalocéros (WBT138), à la limite US4-US5a, un âge moyen de 132 ± 8 ka ($\pm 2\sigma$) (Bahain *et al.*, 2022). Ces deux résultats sont cohérents. Notons qu'ils sont en accord avec un âge U/Th *minimal* de $103 \pm 3,5$ ka obtenu sur des oogones de Characée provenant des niveaux tuffacés de l'unité 14 sous-jacente à la tourbe dans le puisard 2013 (Deschodt *et al.*, 2022; Bahain *et al.*, 2022b). Les résultats sur les dents de cheval confirment que la

séquence représentée par les unités US4 et US5 s'est bien mise en place au cours d'une phase comprenant la dernière période interglaciaire. Ils montrent également que la déglaciation précédente a pu être enregistrée dans les faciès limoneux formant la transition entre la nappe alluviale grossière et la base des tourbes, en accord avec les données stratigraphiques, malacologiques, palynologiques, et fauniques.

4 - MÉTHODES

4.1 - PRÉPARATION DES ÉCHANTILLONS ET ANALYSES PAR SPECTROMÉTRIE DE MASSE

Les échantillons de dents ont été nettoyés mécaniquement, lavés à l'eau distillée, puis placés dans une cuve à ultrason afin d'éliminer les traces possibles de sédiment, enfin séchés à l'étuve. Environ 20 mg de poudre d'émail ont été collectés à l'aide d'une microforeuse ©Dremel équipée d'une pointe diamantée. L'émail a été prélevé parallèlement à l'axe de croissance de la dent, de l'apex au cervix. Pour chaque dent, une analyse a été réalisée.

Les poudres d'émail ont été traitées chimiquement dans le but d'analyser les isotopes de l'oxygène du groupement phosphate, selon le protocole de Crowson *et al.* (1991) modifié par Lécuyer *et al.* (1993). La préparation chimique des échantillons ainsi que du matériel de référence NBS ont été réalisées au LGL-TPE à l'Université Claude Bernard Lyon 1.

Les analyses isotopiques $\delta^{18}\text{O}$ des échantillons ont été réalisées sur la Plateforme d'Ecologie Isotopique du LEHNA (membre du réseau RéGEF) à l'Université Claude Bernard Lyon 1 par un analyseur élémentaire de type varioPYROcube (Elementar GmbH). Cet analyseur élémentaire, qui fonctionne en mode «purge and trap», est couplé en ligne et en flux continu à un spectromètre de masse isotopique (Elementar IsoprimeTM; EA-PY-CF-IRMS) selon la technique décrite par Fourel *et al.* (2011). À haute température (1450°C, obtenue dans un four vitrifié), le carbone du réacteur réagit avec le phosphate d'argent pour former du monoxyde de carbone (CO). Ce gaz est ensuite introduit par un flux continu d'hélium dans la source du spectromètre de masse isotopique pour déterminer le rapport $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$. Une calibration est effectuée par rapport aux standards NBS120c ($\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}} = 21,7 \pm 0,14$ ‰) et NBS127 ($\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}} = 9,3 \pm 0,40$ ‰). Les valeurs de $\delta^{18}\text{O}$ sont normalisées au V-SMOW. Les statistiques sur les mesures répliquées des échantillons et du standard NBS120c fournissent une incertitude analytique globale sur le $\delta^{18}\text{O}$ de $\pm 0,25\%$.

4.2 - RELATION ENTRE LE $\delta^{18}\text{O}$ DES PHOSPHATES DENTAIRE ET LE $\delta^{18}\text{O}$ DE L'EAU DE L'ENVIRONNEMENT

De nombreux travaux, s'inspirant de ceux de Longinelli (1984), ont montré qu'il existe des relations étroites entre la composition isotopique de l'oxygène

de l'émail dentaire de mammifères et la composition isotopique de l'oxygène de l'eau de l'environnement de ces mammifères. Ces relations expriment que le $\delta^{18}\text{O}$ de l'eau de l'environnement, dont l'origine sont les eaux météoriques (pluie, neige), contrôle principalement le $\delta^{18}\text{O}$ de l'eau consommée par les vertébrés, qui lui-même se reflète dans le $\delta^{18}\text{O}$ du phosphate de leur émail dentaire ($\delta^{18}\text{O}_p$), avec un fractionnement isotopique dépendant de la physiologie et de l'écologie des animaux. Ces effets écophysiologiques sont intégrés dans les équations (Longinelli, 1984; Luz & Kolodny, 1985; Kohn *et al.*, 1996; Langlois *et al.*, 2003). Ces équations ont été établies à partir de mesures du $\delta^{18}\text{O}$ du phosphate osseux ou dentaire réalisées sur plusieurs individus d'une même espèce, et parfois sur plusieurs individus d'espèces différentes, vivant actuellement dans différentes régions sous des conditions climatiques et environnementales variées. Des couples de valeurs (i) composition isotopique de l'oxygène du phosphate dentaire d'un individu actuel et (ii) composition isotopique moyenne de l'oxygène de l'eau de l'environnement local actuel de cet individu (mesures directes sur le terrain - précipitations, etc. - ou valeurs extraites de bases de données référencées, telle que la base GNIP de l'IAEA; IAEA/WMO, 2021) ont été établis. L'ensemble de ces couples de valeurs a ainsi permis de déterminer une équation empirique. En faisant l'hypothèse que ces relations sont extrapolables dans le passé, le $\delta^{18}\text{O}_p$ des phosphates dentaires permet donc de déterminer le $\delta^{18}\text{O}_w$ des eaux météoriques au temps de vie de l'animal. Cette méthode, en dépit des limites qu'elle peut présenter (Lécuyer *et al.*, 2021), se révèle particulièrement intéressante pour la reconstruction des paléoclimats.

Les équations utilisées dans ce travail ont été établies à partir de données disponibles dans la littérature en utilisant la méthode «transposed fit» décrite dans Pryor *et al.* (2014) et Skrzypek *et al.* (2016). Ce sont les suivantes :

- Pour le cheval (*Equus sp.*):

$$\delta^{18}\text{O}_w = 1,08(\pm 0,13) \cdot \delta^{18}\text{O}_p - 25,82(\pm 2,42) \quad (n = 23; R^2 = 0,77) \quad (1)$$

Cette équation a été établie par compilation des données de Bryant *et al.* (1994), Sanchez Chillon *et al.* (1994), Delgado Huertas *et al.* (1995) sur *Equus caballus*, *E. burchelli*, *E. asinus*, *E. zebra*, *E. przewalskii*. Notons que comme dans Delgado Huertas *et al.* (1995) deux valeurs aberrantes ont été extraites de la base des données originales de Bryant *et al.* (1994). Naturellement nous obtenons une équation différente de l'équation (8) de Delgado Huertas *et al.* (1995) car nous cherchons une relation $\delta^{18}\text{O}_w$ vs $\delta^{18}\text{O}_p$.

- Pour le mégalocéros (*Megaloceros giganteus*):

L'espèce du «Grand cerf des tourbières» étant une espèce éteinte de cervidés, nous avons utilisé par convention et homologie de forme le cerf élaphe (*Cervus elaphus*). La reprise des données D'Angela et Longinelli (1990) permet d'établir (Lécuyer *et al.*, 2021):

$$\delta^{18}\text{O}_w = 0,88(\pm 0,03) \cdot \delta^{18}\text{O}_p - 22,50(\pm 0,52) \quad (n = 7; R^2 = 0,99) \quad (2)$$

- Pour le chevreuil (*Capreolus capreolus*):

$$\delta^{18}\text{O}_w = 1,12(\pm 0,04) \cdot \delta^{18}\text{O}_p - 27,08(\pm 0,73) \\ (n = 14; R^2 = 0,98) \quad (3)$$

Cette équation a été obtenue à partir des données de Delgado Huertas *et al.* (1995) sur *Capreolus capreolus*, *Capra ibex*, *Capra sp.*, *Ovis ammon musimon*.

4.3 - RELATION ENTRE LE $\delta^{18}\text{O}$ DE L'EAU DE L'ENVIRONNEMENT ET LA TEMPÉRATURE MOYENNE ANNUELLE DE L'AIR

La température moyenne annuelle de l'air (T_{air} , en °C) est calculée, par la suite, grâce à la relation linéaire empirique établie entre le $\delta^{18}\text{O}_w$ de l'eau météorique et la température de l'air, en Europe, à l'époque moderne (Skrzypek *et al.*, 2011):

$$T_{\text{air}} (\text{°C}) = 1,41(\pm 0,02) \cdot \delta^{18}\text{O}_w + 21,63(\pm 0,22) \\ (n = 13347; R^2 = 0,70) \quad (4)$$

Pour le site de Waziers, proche du littoral et en zone de plaine, les masses d'air humides ne sont pas affectées par des effets de fractionnement de Rayleigh continentaux ou altitudinaux. Nous faisons l'hypothèse que cette relation, déterminée pour les temps modernes, s'applique à la période étudiée, comme cela a été discuté dans des travaux analogues (e.g. Lécuyer *et al.*, 2021).

Avant d'utiliser la relation entre le $\delta^{18}\text{O}_w$ de l'eau météorique et la température moyenne annuelle de l'air (équation (4)), établie pour la période actuelle, le $\delta^{18}\text{O}_w$ de l'eau météorique locale reconstitué à partir du $\delta^{18}\text{O}_p$ de l'émail dentaire des échantillons doit être corrigé de la signature isotopique de la source des précipitations à l'époque du dépôt de chaque série d'échantillons. En effet, toute variation de composition isotopique de cette source par rapport à l'actuel se répercute dans le cycle de l'eau. À Waziers, la source des eaux météoriques est l'eau de surface de l'océan Atlantique nord-est. Or, entre les climats glaciaires et interglaciaires, la composition isotopique en oxygène de l'océan global évolue suite à la croissance puis à la fonte des calottes de glace sur les continents nord-américain et eurasiens, et secondairement antarctique. Dans le cadre d'une transition glaciaire/interglaciaire, nous cherchons donc à évaluer la variation du $\delta^{18}\text{O}$ moyen de l'eau océanique résultant de la présence de ces calottes de glace aux époques échantillonnées, par rapport à l'actuel. Cette évaluation est basée sur la variation du niveau marin par rapport à l'époque moderne, pour chacune des trois époques où l'échantillonnage a été réalisé. Il nous faut donc estimer ces variations.

Dans un premier temps, nous évaluons ainsi la baisse relative du niveau marin contemporaine des trois époques successives relatives à l'unité US4c-d, puis à la limite US4-US5a, enfin à l'unité US5b. À la période glaciaire du SIM 6.2 (non échantillonnée ici), l'abaissement du niveau marin relativement à l'époque moderne était compris entre 120 et 130 m (Waelbroeck *et al.*, 2002), de l'ordre de grandeur de celui du SIM 2 (Waelbroeck *et al.*,

2002 ; Lisiecki & Raymo, 2005 ; Lambeck *et al.*, 2014). Le dépôt US4c-d étudié ici correspond, nous l'avons vu, à un début d'époque tardiglaciaire succédant à la glaciation du SIM 6.2, la limite US4-US5a à une époque tardiglaciaire intermédiaire, enfin le dépôt US5b à une époque tardiglaciaire avancée, précédant l'établissement du SIM 5.5. Par conséquent, pour le dépôt US4c-d (dents de cheval), qui a eu lieu après le maximum glaciaire SIM 6.2, nous estimons l'abaissement du niveau marin de l'ordre de 110 ± 10 m : il est en effet inférieur à 120-130 m car la déglaciation a déjà débuté. Par ailleurs, au commencement de l'interglaciaire actuel, soit l'Holocène (SIM 1), le niveau marin était situé à une cinquantaine de mètres sous le niveau actuel suite à la dynamique de fonte des calottes glaciaires (Jouzel *et al.*, 2007 ; Lambeck *et al.*, 2014). Nous faisons l'hypothèse d'un décalage comparable lors de l'établissement de l'interglaciaire précédent, le SIM 5.5 (Maréchal *et al.*, 2020). Compte tenu de cet élément, nous évaluons l'abaissement du niveau marin lors du dépôt US5b (dent de chevreuil), qui est antérieur à l'interglaciaire SIM 5.5, de l'ordre de 60 ± 10 m. Enfin, nous estimons la baisse du niveau marin pour la limite US4-US5a (dent de mégalocéros), qui est un niveau médian, de l'ordre de 90 ± 10 m.

Dans un second temps, la variation de composition isotopique en oxygène de l'océan global par rapport à l'actuel est estimée pour chacune des trois périodes étudiées. Au préalable, nous nous focalisons sur l'avant-dernier maximum glaciaire, le SIM 6.2 (non échantillonné ici), et son analogue, le dernier maximum glaciaire, le SIM 2. Connaissant, au SIM 2, (i) le $\delta^{18}\text{O}$ moyen de la calotte fennoscandienne et de la calotte nord-américaine (Hillaire-Marcel & Causse, 1989 ; Duplessy *et al.*, 2002 ; Sima *et al.*, 2006), de la calotte groenlandaise (GRIP et North Greenland Ice Sheet Project Members, 2004), de la calotte antarctique (Landais *et al.*, 2008 ; Dome Fuji Ice Core Project Members, 2017), (ii) la contribution relative des différentes calottes à l'abaissement marin (Simms *et al.*, 2019), (iii) la profondeur moyenne de l'océan (Charette & Smith, 2010), et (iv) l'abaissement moyen de l'océan par rapport au niveau actuel (Waelbroeck *et al.*, 2002 ; Lambeck *et al.*, 2014), nous déduisons que le $\delta^{18}\text{O}$ moyen de l'océan global a augmenté d'environ $+1,2\%$ au SIM 2 par rapport à l'interglaciaire actuel. Cette valeur est en accord avec celle proposée par Fairbanks (1989) ($+1,3\%$), Duplessy *et al.* (2002) ($+1,05 \pm 0,20\%$) et Waelbroeck *et al.* (2002) ($+1,00$ à $+1,05\%$) pour l'océan global. Elle est un peu plus élevée que celle donnée pour l'Atlantique nord au SIM 2 par Schrag *et al.* (2002) ($+0,7\%$ à $+0,8\%$). Pour l'avant-dernier maximum glaciaire, le SIM 6.2, un $\delta^{18}\text{O}$ moyen de l'océan global proche de $+1,05\%$ est donné par Waelbroeck *et al.* (2002). Ces résultats sont cohérents entre eux. Nous prendrons ici une valeur moyenne de $+1,00 \pm 0,20\%$ au SIM 6.2, lorsque le niveau marin était d'environ $\approx 125 \pm 5$ m plus bas que l'actuel. Compte tenu de l'abaissement marin de $\approx 110 \pm 10$ m lors du dépôt US4c-d (dents de cheval), de $\approx 90 \pm 10$ m au moment de la limite US4-US5a (dent de mégalocéros), et de $\approx 60 \pm 10$ m lors du dépôt US5b (dent de chevreuil), nous déduisons que la source océanique

des eaux météoriques à Waziers était de $+0,88 \pm 0,25\%$, $+0,72 \pm 0,25\%$, et $+0,48 \pm 0,25\%$ plus élevée que l'époque moderne, respectivement. Par conséquent, ces valeurs sont retranchées au $\delta^{18}\text{O}_w$ de l'eau météorique locale reconstitué pour chaque échantillon, au préalable de l'application de l'équation (4) qui permet d'établir la température de l'air.

4.4 - ESTIMATION DE L'INCERTITUDE TOTALE SUR LA TEMPÉRATURE

Il existe différentes sources d'incertitudes associées au calcul des paléotempératures moyennes annuelles de l'air. Des analyses de ces incertitudes sont disponibles dans Pryor *et al.* (2014) et Skrzypek *et al.* (2016). La méthode que nous avons employée est en accord avec les recommandations de ce dernier auteur. La reproductibilité externe du $\delta^{18}\text{O}_p$ mesuré dans les phosphates d'email dentaire ($\pm 0,25\%$) produit une erreur moyenne sur le $\delta^{18}\text{O}_w$ de $\pm 0,26\%$ ($\sigma_{w/p}$) (voir équations (1) à (3)). L'erreur moyenne sur la composition isotopique de la source océanique des eaux météoriques à Waziers pour les différentes époques étudiées est, d'autre part, de $\pm 0,25\%$ (σ_{oc}) (voir section 4.3).

Considérons maintenant l'incertitude $\sigma_{w/p\ eq}$ associée aux régressions linéaires des données empiriques ($y = mx + b$), qui établissent les relations entre le $\delta^{18}\text{O}_p$ des phosphates dentaires des mammifères et le $\delta^{18}\text{O}_w$ des eaux météoriques au temps de vie de l'animal (équations (1), (2) et (3)). L'incertitude n'est pas disponible dans les publications originales. Nous utilisons les fonctions «lm()» (régression linéaire) et «pred()» (utilisation des résultats de la régression) du langage R (Chambers & Hastie, 1992) et obtenons $\pm 0,75\%$ pour l'incertitude associée à l'équation pour le cheval (Eq. (1)), $\pm 0,07\%$ pour l'incertitude associée à l'équation pour le mégalocéros (Eq. (2)), et $\pm 0,13\%$ pour l'incertitude associée à l'équation pour le chevreuil (Eq. (3)).

Par conséquent, l'erreur sur le $\delta^{18}\text{O}_w$ reconstitué après correction de la source océanique, $\sigma_{w\ corr}$, est de $\pm 0,83\%$ pour les données du cheval, de $\pm 0,37\%$ pour les données du mégalocéros, et de $\pm 0,38\%$ pour les données du chevreuil. Elle est calculée comme suit :

$$\sigma_{w\ corr} = \sqrt{(\sigma_{w/p})^2 + (\sigma_{oc})^2 + (\sigma_{w/p\ eq})^2} = \sqrt{(0,26)^2 + (0,25)^2 + (\sigma_{w/p\ eq})^2} \quad (5)$$

Ces erreurs donnent une incertitude σ_T de $\pm 1,2^\circ\text{C}$ pour les températures reconstituées du cheval, et de $\pm 0,5^\circ\text{C}$ pour les températures reconstituées du mégalocéros et du chevreuil, d'après l'équation (4).

Enfin, nous considérons l'incertitude $\sigma_{T/w\ eq}$ associée à la régression linéaire des données empiriques ($y = mx + b$), qui établit la relation entre le $\delta^{18}\text{O}_w$ de l'eau météorique et la température de l'air en Europe (équation (4)). L'incertitude n'est pas disponible dans la publication originale. De la même manière que précédemment, nous utilisons les fonctions «lm()» et «pred()» du langage R (Chambers & Hastie, 1992) et obtenons $\pm 0,06^\circ\text{C}$ (Eq. (4)). Cette incertitude est négligeable par rapport à σ_T et la valeur de l'incertitude totale est égale à σ_T .

5 - RÉSULTATS

5.1 - RÉSULTATS $\delta^{18}\text{O}$ DES DENTS DE GRANDS MAMMIFÈRES

Le $\delta^{18}\text{O}_p$ des dents de cheval, de mégalocéros et de chevreuil varient de $13,20 \pm 0,25 \text{ ‰}$ à $16,36 \pm 0,25 \text{ ‰}$ (tab. 1). Les cinq dents de cheval analysées ont des valeurs isotopiques remarquablement proches les unes et des autres, et fournissent une moyenne de $13,61 \pm 0,43 \text{ ‰}$ (1σ). Ce résultat est cohérent puisqu'il s'agit d'un seul et même individu. L'incertitude sur la moyenne ($\pm 0,43 \text{ ‰}$) est faible, ce qui montre la robustesse des résultats et de la méthode. De manière similaire, nous faisons l'hypothèse que l'analyse du $\delta^{18}\text{O}_p$ de la dent de mégalocéros d'une part, de la dent de chevreuil d'autre part, donne une bonne estimation de la valeur moyenne du signal des dents de chaque individu. La dent de mégalocéros (limite US4-US5a), située dans une unité stratigraphique reposant sur celle ayant livré les dents de cheval (US4c-d), donne une valeur de $14,53 \pm 0,25\text{‰}$. Enfin, la dent de chevreuil (US5b), dans une unité stratigraphique supérieure à celle du mégalocéros, donne une valeur de $16,36 \pm 0,25\text{‰}$. On observe donc une augmentation progressive des valeurs du $\delta^{18}\text{O}_p$ des dents échantillonnées entre ces unités stratigraphiques successives.

5.2 - RECONSTITUTION DES PALÉOTEMPÉRATURES

Les températures moyennes reconstituées varient entre $4,1 \pm 1,2 \text{ °C}$ et $8,6 \pm 0,5 \text{ °C}$ (tab. 1). Rappelons que les résultats présentés ici sont obtenus par un nombre limité d'échantillons, qui sont aujourd'hui les seuls disponibles pour le site de Waziers avec la méthode utilisée.

La moyenne des températures des cinq dents du cheval, comprises entre $4,1 \pm 1,2 \text{ °C}$ et $5,5 \pm 1,2 \text{ °C}$, est de $4,7 \pm 0,6 \text{ °C}$ (1σ). Les dents de cheval, hypsodontes,

se forment sur une période de temps comprise entre $\approx 1,5$ et 2,8 ans selon le type de dent (Hoppe *et al.*, 2004). La température reconstituée pour chaque dent est donc proche de la température moyenne annuelle. La faible dispersion de l'ensemble des températures obtenues à partir de chacune des cinq dents du cheval conforte cette analyse. Ainsi la valeur de $4,7 \pm 0,6 \text{ °C}$ représente une moyenne annuelle. Cette température moyenne annuelle de l'air correspond stratigraphiquement au dépôt US4c-d, qui marque la première phase mise en place après le début de la déglaciation. Un analogue actuel au climat de Waziers du vivant du cheval étudié est, par exemple, celui de Magerholm en Norvège, à $62^{\circ}27'0''\text{N}$, $6^{\circ}30'0''\text{E}$: la température moyenne annuelle est de $4,8 \text{ °C}$ pour la période 1999-2019 (Climate-data.org). La température reconstituée par la dent de mégalocéros est de $6,9 \pm 0,5 \text{ °C}$. L'échantillon provient de la limite US4-US5a: il est postérieur au dépôt US4c-d, et antérieur au dépôt US5b dans lequel est située la dent de chevreuil. La température associée à cette dernière dent est de $8,6 \pm 0,5 \text{ °C}$.

Le mégalocéros et le chevreuil, dont les dents étudiées ici sont respectivement une prémolaire et une molaire, ont des dents brachyodontes. Les données de la littérature relatives au cerf élaphe, qui possède également des dents brachyodontes, et qui est un bon homologue actuel au mégalocéros (espèce éteinte de cervidés), indiquent que la croissance des dents se déroule sur une période intégrant les deux saisons extrêmes (Stevens *et al.*, 2011) et couvre souvent un cycle annuel (Fricke *et al.*, 1998). Les prémolaires, notamment, ont une période de croissance qui s'étend entre 11 et 19 mois, voir jusqu'à 30 mois (Ecker *et al.*, 2013). Ainsi, l'analyse isotopique d'une dent entière conduit à l'obtention d'une valeur proche de la température moyenne annuelle de l'air. C'est ce que confirment les travaux de Fabre *et al.* (2010) qui obtiennent des valeurs de températures annuelles

Échantillon	Taxon	Unité stratigraphique (US) ou limite stratigraphique	$\delta^{18}\text{O}_p$ (‰) mesuré	$\delta^{18}\text{O}_w$ (‰) calculé, corrigé de la source des eaux météoriques	T_{air} (°C)	SD (°C)
WBT 147	<i>Capreolus capreolus</i>	US5b	16.36	-9.24	8,6	$\pm 0,5$
WBT 138	<i>Megaloceros giganteus</i>	Limite US4-US5a	14.53	-10.43	6,9	$\pm 0,5$
WBT 19	<i>Equus sp.</i>	US4c-d	13.20	-12.44	4,1	$\pm 1,2$
WBT 22.1	<i>Equus sp.</i>	US4c-d	13.32	-12.31	4,3	$\pm 1,2$
WBT 22.2	<i>Equus sp.</i>	US4c-d	14.01	-11.57	5,3	$\pm 1,2$
WBT 22.3	<i>Equus sp.</i>	US4c-d	14.13	-11.44	5,5	$\pm 1,2$
WBT 22.4	<i>Equus sp.</i>	US4c-d	13.40	-12.23	4,4	$\pm 1,2$

Tab. 1 : $\delta^{18}\text{O}_p$ (‰) mesurés et températures moyennes annuelles reconstituées (T_{air} , °C) au site de Waziers pour les différents échantillons de dents de grands mammifères.

Les paléotempératures sont estimées d'après les valeurs $\delta^{18}\text{O}$ (‰) mesurées dans le phosphate de l'émail dentaire de grands mammifères herbivores au site de Waziers: le cheval (*Equus sp.*), le mégalocéros (*Megaloceros giganteus*), et le chevreuil (*Capreolus capreolus*). L'incertitude analytique sur le $\delta^{18}\text{O}$ est de $\pm 0,25 \text{ ‰}$; l'incertitude calculée sur les paléotempératures est indiquée dans la dernière colonne (Déviation Standard, SD (°C)). Les unités stratigraphiques (US) dans lesquelles ont été retrouvés les fossiles sont indiquées dans le tableau. Les $\delta^{18}\text{O}_w$ (‰) des eaux météoriques au temps de vie de l'animal ont été calculés d'après les équations disponibles dans la littérature et sont exprimés ici corrigés de la source océanique des eaux météoriques à Waziers (voir texte).

*Tab. 1 : Measured $\delta^{18}\text{O}_p$ (‰) and reconstructed mean annual temperatures (T_{air} , °C) at the Waziers site for the different large mammal tooth samples. Paleotemperatures are estimated from $\delta^{18}\text{O}$ (‰) values measured in tooth enamel phosphate of large herbivorous mammals at the Waziers site: horse (*Equus sp.*), megaloceros (*Megaloceros giganteus*), and roe deer (*Capreolus capreolus*). The analytical uncertainty on $\delta^{18}\text{O}$ is $\pm 0,25 \text{ ‰}$; the uncertainty calculated on the paleotemperatures is indicated in the last column (Standard Deviation, SD (°C)). The stratigraphic units (US) in which the fossils were found are indicated in the table. The $\delta^{18}\text{O}_w$ (‰) of meteoric water at the time of the animal's life were calculated from equations available in the literature and are expressed here corrected for the oceanic source of meteoric water at Waziers (see text).*

comparables en travaillant sur l'émail des dents de cheval et de cerf élaphe fossiles, sur une époque allant de 145 ka à 33 ka. Nous assimilerons donc la température moyenne obtenue à partir de la dent du mégalocéros à une valeur moyenne annuelle. Pour le chevreuil, dont l'éruption des molaires a lieu au cours de la première année (Tomé et Vignes, 2003; Ecker *et al.*, 2013), la certitude n'est pas acquise que toutes les saisons soient enregistrées par l'émail dentaire de la dent étudiée ici. Nous ferons néanmoins l'hypothèse que l'enregistrement de la molaire étudiée inclut les deux saisons extrêmes et que la température obtenue est proche de la température moyenne annuelle de l'air.

6 - DISCUSSION

6.1 - CHRONOLOGIE ET ENVIRONNEMENT DES DÉPÔTS ÉTUDIÉS

Les datations par ESR-U/Th, qui donnent des âges de 128 ± 20 ka pour les dents de cheval du dépôt US4c-d et 132 ± 8 ka pour la dent de mégalocéros à la limite US4-US5a (Bahain *et al.*, 2022), sont cohérentes avec la stratigraphie et les données paléoenvironnementales, compte tenu de leur précision. La stratigraphie, établie de façon particulièrement fine sur l'ensemble du gisement, montre en effet que les dépôts étudiés n'ont pas été perturbés par des inversions de couches et qu'ils se situent dans une succession stratigraphique normale. D'autre part, le dépôt US4c-d, la limite US4-US5a, et le dépôt US5b, sont situés stratigraphiquement sous le dépôt US5e des limons bruns et de la tourbe supérieure (dite tourbe «à castors»), attribué à l'interglaciaire SIM 5.5 (Eemien). Ces résultats indiquent que les niveaux comprenant le matériel étudié (US4c-d, limite US4-US5a, et US5b) se sont mis en place au cours de la transition entre la glaciation SIM 6.2 et l'interglaciaire SIM 5.5.

Les données malacologiques (Limondin-Louzouet, 2022) et palynologiques (Gauthier, 2022) sont cohérentes avec les reconstitutions de température de chacun des trois niveaux stratigraphiques étudiés ici, ainsi qu'avec les âges estimés par ESR-U/Th (Bahain *et al.*, 2022). Les trois séries d'échantillons étudiés correspondent successivement :

(i) à un climat rigoureux, frais et sec, lors de la première phase de déglaciation (couverture végétale ouverte clairsemée de type tundra-steppe, palynozone Waz-2; dépôt US4c-d) (échantillons de dents de cheval; température reconstituée de $4,7 \pm 0,6$ °C),

(ii) à un climat rigoureux devenant un peu plus tempéré et moins sec (couverture végétale ouverte plus dense avec une disparition de la tundra et l'essor d'une prairie steppique plus ou moins arbustive, passage de la palynozone Waz-2 à Waz-3; limite des dépôts US4-US5a) (échantillon de dent de mégalocéros; température reconstituée de $6,9 \pm 0,5$ °C),

(iii) enfin à un climat moins rigoureux mais toujours frais (couverture végétale ouverte avec une évolution vers des prairies à hautes graminées et une quasi disparition des herbacées steppiques, présence de bosquets d'arbres pionniers, palynozone Waz-4; dépôt US5b) (échantillon de dent de chevreuil; température reconstituée de $8,6 \pm 0,5$ °C).

Au final, les périodes échantillonnées succèdent à la période glaciaire du SIM 6.2 et précèdent la période interglaciaire du SIM 5.5 (en particulier l'optimum thermique de cette période).

D'autre part, les trois espèces échantillonnées pour ce travail évoluent dans des milieux différents, qui sont compatibles avec les reconstitutions des paléotempératures. Le cheval occupe principalement les milieux ouverts. Cette espèce s'est largement développée aux moyennes latitudes durant les périodes glaciaires où régnaient les milieux ouverts. Le mégalocéros est caractéristique également des milieux ouverts des climats glaciaires, mais aussi interglaciaires. Le chevreuil, quant à lui, est une espèce caractéristique des milieux fermés à semi-fermés. Il possède une certaine plasticité adaptative lui permettant de jouer le rôle d'espèce pionnière au début des interglaciaires sans que le couvert végétal soit très développé. Notons que des restes de rhinocéros des prairies (*Stephanorhinus hemitoechus*) ont été trouvés dans le même dépôt que le chevreuil (unité US5b, voir Auguste *et al.*, 2022) : la présence de cette espèce, au côté du chevreuil, confirme que le milieu était plutôt semi-fermé.

La succession stratigraphique des dépôts étudiés, les conditions climatiques déduites par les séries polliniques de ces dépôts, enfin les habitats caractéristiques des espèces étudiées dans ces dépôts sont cohérents entre eux, ainsi qu'avec les paléotempératures reconstituées ici par analyse isotopique. La période étudiée comprend le début de la déglaciation puis son développement progressif au cours de la Terminaison SIM 6/5, avant l'entrée en période interglaciaire SIM 5.5.

6.2 - PALÉOTEMPÉRATURES DE LA TRANSITION GLACIAIRE/INTERGLACIAIRE SIM 6/5

Les résultats de cette étude montrent une augmentation progressive des températures moyennes annuelles, de $4,7 \pm 0,6$ °C, à $6,9 \pm 0,5$ °C, puis à $8,6 \pm 0,5$ °C, durant les trois phases qui se succèdent au cours de la déglaciation SIM 6/5 (figs. 6 & 7). Situons ces données par rapport aux paléotempératures estimées dans la littérature.

Les reconstitutions des températures glaciaires en Europe de l'ouest concernent principalement le dernier maximum glaciaire (SIM 2, ≈ 23 à ≈ 19 ka BP). Nous nous baserons sur ces données comme analogues au maximum glaciaire de l'avant-dernière période glaciaire (SIM 6.2). En effet, les données disponibles dans la littérature permettent de supposer que la température moyenne annuelle globale au SIM 6.2 est du même ordre de grandeur que celle du SIM 2 (Jouzel *et al.*, 2007; Fischer *et al.*, 2018). Au SIM 2, Brulhet & Petit-

Maire (1999), Gornitz Ed. (2009), Antoine *et al.* (2014, 2016) et Bertran *et al.* (2017) mettent en évidence des structures associées à un pergélisol continu dans le Nord de la France. De façon comparable, le site de Waziers aurait donc été affecté par un pergélisol au cours du SIM 6.2. Ceci implique une température moyenne annuelle inférieure à 0°C, plus généralement inférieures à -6 °C par comparaison avec les données actuelles dans le Nord du Canada (Marchand, 2017). Or la température reconstituée pour le dépôt US4c-d est de $4,7 \pm 0,6$ °C, indiquant que le pergélisol avait disparu lors de ce dépôt. Cette situation est cohérente avec le fait que les sédiments se sont mis en place après l'avant-dernier maximum glaciaire du SIM 6.2.

Replaçons maintenant les températures déterminées dans notre étude dans le cadre des températures reconstituées lors de l'interglaciaire du SIM 5.5. Des paléotempératures ont été déterminées en Europe de l'Ouest pour cette période. Basées sur des proxys polliniques, les reconstitutions de Brewer *et al.* (2008) sur les sites d'Eiffel Maar et Hoher List (Allemagne de l'est) localisés aux mêmes latitudes que Waziers affichent une anomalie comprise entre +3 °C et +4,5 °C il y a 127 ka par rapport aux valeurs modernes, à une époque correspondant au maximum thermique de l'Eemien (SIM 5.5). La température moyenne annuelle moderne à Waziers (11,0 °C) permet de déduire une température

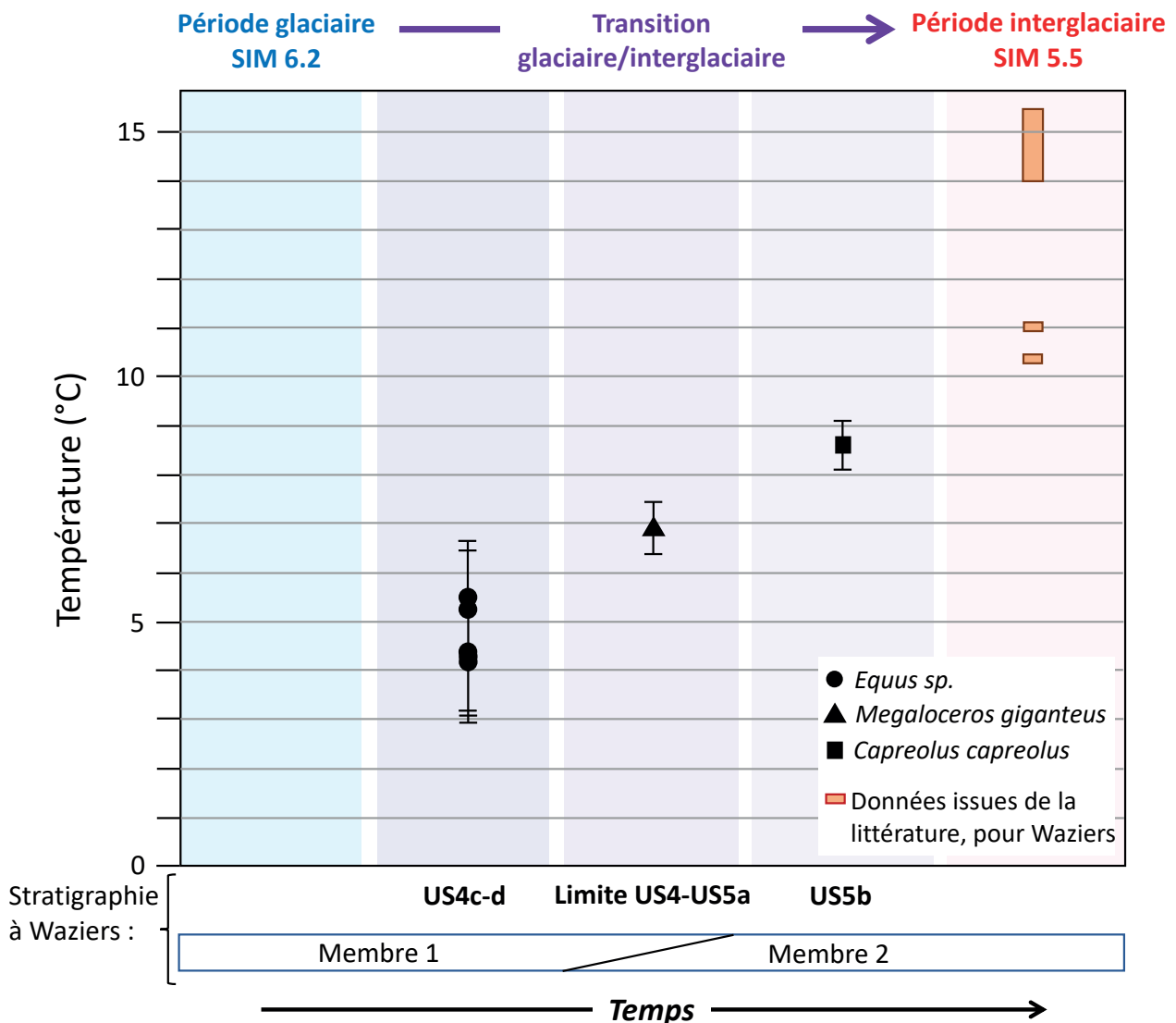


Fig. 6: Synthèse des températures moyennes annuelles reconstituées (T_{air} , °C) à Waziers en fonction du temps.

Les paléotempératures ont été déterminées d'après les valeurs $\delta^{18}O$ (‰) du phosphate de l'émail dentaire de grands mammifères herbivores au site de Waziers. Les valeurs de température de l'air déduites de l'analyse $\delta^{18}O$ des 5 dents de cheval (*Equus sp.*) du dépôt US4c-d, de la dent de mégalocéros (*Megaloceros giganteus*) à la limite US4-US5a, et de la dent de chevreuil (*Capreolus capreolus*) du dépôt US5b sont représentées en noir par des cercles, triangle et carré, respectivement. Les incertitudes associées sont également reportées. En orange figurent les températures à Waziers pour l'Optimum climatique du SIM 5.5 déduites des travaux de Kaspar *et al.* (2005), Gebhardt *et al.* (2007) et Brewer *et al.* (2008) (voir texte).

Fig. 6: Summary of reconstructed mean annual air temperatures (°C) at the Waziers site as a function of time. The air temperature values deduced from the $\delta^{18}O$ analysis of the 5 horse (*Equus sp.*) teeth from the US4c-d deposit, the megaloceros (*Megaloceros giganteus*) tooth at the US4-US5a boundary, and the deer (*Capreolus capreolus*) tooth from the US5b deposit are represented in black by circles, triangle and square, respectively. The associated uncertainties are also reported. In orange are the temperatures inferred for the SIM 5.5 climate Optimum at Waziers from the work of Kaspar *et al.* (2005), Gebhardt *et al.* (2007) and Brewer *et al.* (2008) (see text).

comprise entre 14,0 °C et 15,5 °C durant l'Optimum climatique de l'Eemien en ce lieu (fig. 6 et 7). Une autre reconstitution utilisant un modèle statistique basé sur des proxys de pollens et de macrofossiles donnent des anomalies de températures au site de Waziers pour la « phase du *Corylus* (noisetier) à l'Eemien » d'environ -1 °C en janvier et +2 °C en juillet par rapport à la période 1961-1990 (Gebhardt *et al.*, 2007), soit une anomalie proche de +0,5 °C pour la température moyenne annuelle à l'Optimum climatique de l'Eemien par rapport à 1961-1990, ou 1975 ± 15. Environ trente-cinq ans séparent cette date des années 2009 ± 10 (période 1999-2019) pour lesquelles la température moyenne annuelle de 11,0 °C a été déterminée à Waziers. Or la température moyenne annuelle a augmenté d'environ 1,2 °C en France métropolitaine entre les années 1975 et les années 2010 (données Météo France). Il en résulte que, d'après les données de Gebhardt *et al.* (2007), la température avoisinait ≈10,3 °C à l'Optimum climatique à Waziers au cours du SIM 5.5. Enfin, le modèle de Kaspar *et al.* (2005) fournit des anomalies de températures dans la

zone de Waziers de +2 °C à +3 °C en juillet et de l'ordre de +0,5 °C en janvier il y a 125 ka par rapport à la période préindustrielle, soit une moyenne annuelle de l'anomalie de température d'environ +1,5 °C. Les données Météo France pour la France métropolitaine montrent que le réchauffement en France a été d'environ 1,5 °C entre l'époque préindustrielle et les années 2010. On déduit que la température moyenne annuelle à Waziers était de ≈11,0 °C au SIM 5.5 d'après les travaux de Kaspar *et al.* (2005). Les températures issues des travaux de Gebhardt *et al.* (2007) et Kaspar *et al.* (2005) pour Waziers au dernier interglaciaire (de ≈10,3 °C et ≈11,0 °C, respectivement) sont très probablement sous-évaluées. L'anomalie de température moyenne sur l'ensemble du globe au SIM 5.5 est en effet estimée à ≈+2,0 °C par rapport à l'optimum de l'Holocène (Fischer *et al.*, 2018), ce qui donne, ramené au local, une température moyenne annuelle >13 °C à Waziers au dernier interglaciaire. Au final, l'exploitation des données des études précédemment citées donne une température moyenne annuelle à Waziers lors du dernier interglaciaire s'échelonnant entre ≈10,3 °C et ≈15,5 °C.

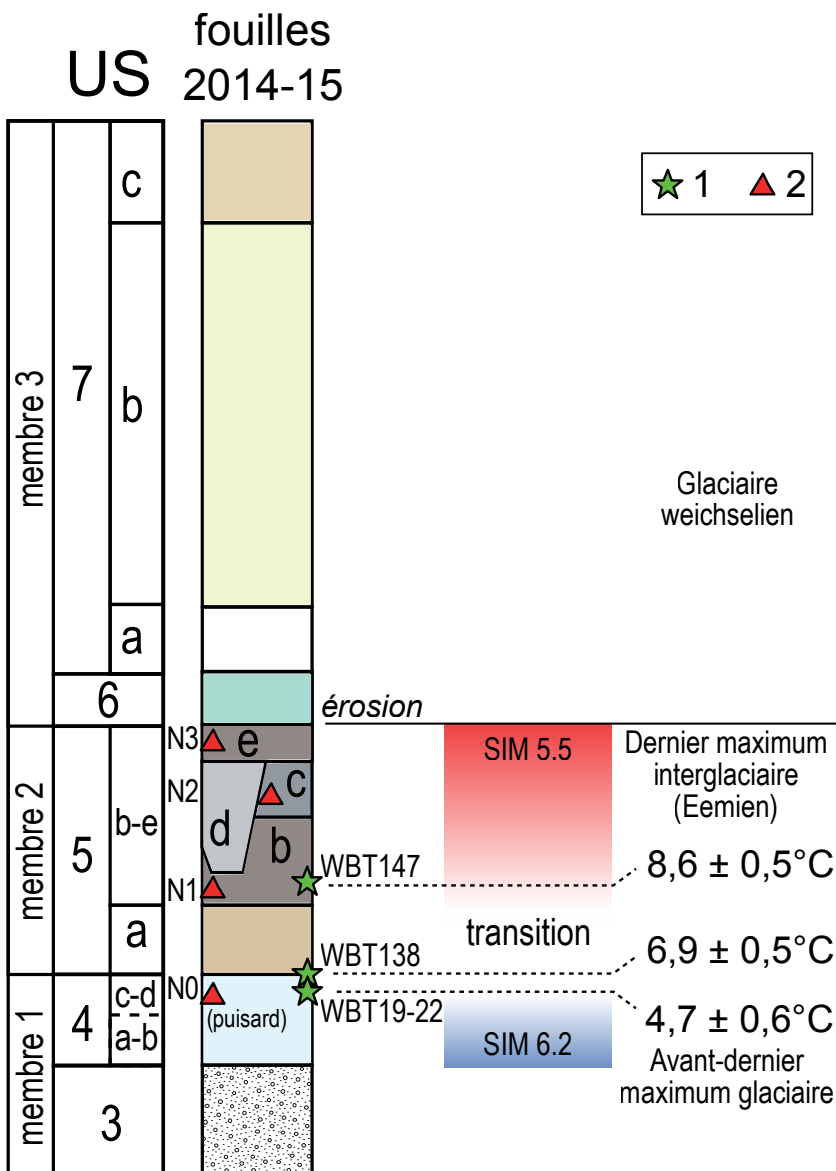


Fig. 7: Position des dents étudiées et températures moyennes annuelles de l'air reconstituées correspondantes sur un log schématisé de la stratigraphie de la fouille 2014-2015.

(1) Etoile verte : dent(s) analysée(s) pour la reconstitution des températures. (2) Triangle rouge : artefact lithique non remanié. Les unités stratigraphiques (US) ainsi que les niveaux archéologiques correspondant aux artefacts lithiques non remaniés (N0 à N3) sont indiqués sur le schéma.

Fig. 7: Position of the studied teeth and corresponding reconstructed mean annual air temperatures (°C) on a schematic log of the 2014-2015 excavation stratigraphy. (1) Green star: tooth(s) analysed for temperature reconstruction. (2) Red triangle: unworked lithic artefact. The stratigraphic (US) as well as the archaeological levels corresponding to the unworked lithic artefacts (N0 to N3) are indicated in the diagram.

La paléotempérature de $8,6 \pm 0,5$ °C calculée pour l'US5b à Waziers est inférieure à celles issues de la littérature pour le dernier interglaciaire SIM 5.5. D'autre part, la température moyenne annuelle actuelle à Waziers, de 11,0 °C, supérieure à celle du dépôt US5b ($8,6 \pm 0,5$ °C), indique que ce dépôt est contemporain d'une période plus froide que celle du présent interglaciaire, l'Holocène. Comme ce dernier est répertorié pour être plus frais que le dernier interglaciaire, ceci corrobore le fait que le dépôt US5b précède le dernier interglaciaire (SIM 5.5).

Ainsi, les températures reconstituées dans ce travail, en accord avec les données stratigraphiques, palynologiques, malacologiques et les datations ESR-U/Th, montrent que les deux extrêmes climatiques de l'avant-dernière période glaciaire (SIM 6.2) et de la dernière période interglaciaire (SIM 5.5) n'ont pas été échantillonnés à Waziers - en raison de l'absence, à ce jour, de dents de mammifères pouvant être utilisées pour les reconstitutions de paléotempératures pour ces deux périodes climatiques extrêmes.

La température à la limite US4-US5a est de $6,9 \pm 0,5$ °C. Cette limite est postérieure au dépôt US4c-d (température reconstituée de $4,7 \pm 0,6$ °C) et antérieure au dépôt US5b (température reconstituée de $8,6 \pm 0,5$ °C). La température de $6,9 \pm 0,5$ °C s'inscrit donc bien dans le réchauffement progressif du climat au cours de la déglaciation SIM 6/5.

Enfin, l'écart de température reconstitué entre le dépôt US4c-d (la plus ancienne dans notre étude) et le dépôt US5b (la plus récente dans notre étude) peut être comparé aux données disponibles dans la littérature. Cet écart est d'environ 4 °C (= ($8,6$ °C - $4,7$ °C)). Puisqu'il est relatif seulement à une partie de la période de la transition glaciaire/interglaciaire SIM 6/5, il permet donc d'établir que l'écart total de température entre la période froide de la glaciation du SIM 6.2 et la période tempérée de l'interglaciaire suivant, le SIM 5.5, est au minimum de 4 °C. Cette donnée n'est pas anodine : elle suggère que l'écart glaciaire/interglaciaire est vraisemblablement supérieur à cette valeur puisque les deux milieux extrêmes n'ont pu être échantillonnés. Elle contribuera ainsi à la validation des simulations réalisées par différents modèles climatiques sur l'écart de la température régionale à Waziers entre le SIM 6.2 et le SIM 5.5. Lécuyer *et al.* (2021) ont déterminé un écart de température entre le SIM 2 et la température préindustrielle (SIM 1) au site de Laugerie Haute (France ; 45°N, environ 625 km au sud-sud-est de Waziers) d'environ 6 °C. En faisant l'hypothèse (i) que l'écart de température moyenne annuelle entre le maximum glaciaire du SIM 6.2 et l'interglaciaire du SIM 5.5 est du même ordre de grandeur que celui entre le SIM 2 et le SIM 1, et (ii) que cet écart est comparable au premier ordre entre les sites de Laugerie Haute et de Waziers, l'écart de ≈ 4 °C déduit des dépôts échantillonnés ici, plus petit que ≈ 6 °C, est cohérent puisqu'il n'est relatif qu'à une partie de la période de la transition glaciaire/interglaciaire.

CONCLUSION

La transition glaciaire/interglaciaire est une étape climatique importante à documenter tant les changements en surface du globe sont de large amplitude et relativement rapides. La Transition SIM 6/5 ou Terminaison 2 est difficile à documenter car elle est rarement enregistrée, notamment en domaine continental. Le site de Waziers dans le Nord de la France (Europe de l'Ouest) offre une grande diversité de dépôts sédimentaires fins comprenant des restes fauniques sur cette période, ainsi que durant l'interglaciaire du SIM 5.5. Ces dépôts s'avèrent également particulièrement intéressants car ils attestent de l'occupation des lieux par l'Homme de Neandertal à ces époques, notamment à travers la production d'artefacts lithiques. Le site, étudié en détail a permis d'identifier des séries stratigraphiques où les dépôts se succèdent chronologiquement. Les fouilles ont permis de prélever trois séries d'échantillons de dents de grands herbivores dont l'analyse isotopique de l'oxygène du phosphate de l'émail dentaire permet de reconstituer la température moyenne de l'air grâce à l'existence d'équations de fractionnement isotopique disponibles dans la littérature pour les espèces considérées. Les trois espèces se répartissent dans des couches successives correspondant à trois périodes de la transition : une période initiale correspondant à la première phase de la transition glaciaire/interglaciaire (dents de cheval, *Equus sp.*), une période médiane (dent de mégalocéros, *Megaloceros giganteus*), puis une période correspondant à une phase encore plus avancée de la transition (dent chevreuil, *Capreolus capreolus*) qui précède la dernière période interglaciaire (SIM 5.5). L'habitat de ces différentes espèces est cohérent avec les données polliniques recueillies sur le site. Les paléotempératures sont de $4,7 \pm 0,6$ °C, $6,9 \pm 0,5$ °C et $8,6 \pm 0,5$ °C, respectivement, pour chacun des trois dépôts. La première valeur ($4,7 \pm 0,6$ °C) apparaît cohérente puisqu'elle caractérise une période postérieure au maximum glaciaire (SIM 6.2) où la température moyenne annuelle à Waziers serait responsable d'un sol gelé en permanence, et donc de température inférieure à 0 °C. La dernière valeur ($8,6 \pm 0,5$ °C) est également cohérente puisqu'elle est relative à un dépôt situé stratigraphiquement en-dessous des dépôts de l'interglaciaire du SIM 5.5, qui, d'après les données de la littérature, affichaient une température comprise entre $\approx 10,3$ °C et $\approx 15,5$ °C : elle est en effet inférieure. Il est particulièrement intéressant de noter que des artefacts lithiques paléolithiques ont été trouvés dans la première et la dernière couche étudiée sur le site de Waziers, ainsi que dans les dépôts de l'interglaciaire du SIM 5.5. Ces résultats sont basés sur un nombre restreint d'échantillons, les seuls actuellement disponibles sur le site de Waziers pour la méthode utilisée. Ils pourraient être confortés à l'avenir si d'autres échantillons supplémentaires pouvaient être collectés.

Enfin, nos mesures indiquent qu'un réchauffement d'environ 4 °C a eu lieu entre le début du tardiglaciaire étudié ici et l'entrée progressive en interglaciaire (fin du tardiglaciaire). Ce réchauffement ne couvre pas

l'intégralité de la période de transition SIM 5/6 qui débute au maximum glaciaire du SIM 6.2 et se termine à l'Optimum thermique de l'interglaciaire du SIM 5.5 (Eemien). L'écart de 4 °C entre les températures moyennes annuelles mesurées correspond donc à une partie seulement du réchauffement lors de la précédente transition glaciaire/interglaciaire (Terminaison 6/5).

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Mathilde Devidet pour l'aide apportée à la réalisation de cette étude dans le cadre de son stage de Master 2.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANTOINE P., LIMONDIN-LOZOUET N., AUGUSTE P., LOCHT J.-L., GALÉHB B., REYSS J.-L., ESCUDÉ É., CARBONEL P., MERCIER P., BAHAIN J.-J., FALGUÈRES C. & VOINCHET P., 2006 - Le tuf de Caours (Somme, France): mise en évidence d'une séquence eemienne et d'un site paléolithique associé. *Quaternaire*, 17 (4), 281-320, doi: 10.4000/quaternaire.880.
- ANTOINE P., GOVAL E., JAMET G., COUTARD S., MOINE O., HERISSON D., AUGUSTE P., GUERIN G., LAGROIX F., SCHMIDT E., ROBERT V., DEBENHAM N., MESZNER S. & BAHAIN J.-J., 2014 - Les séquences loessiques pléistocène supérieur d'Havrincourt (Pas-de-Calais, France): stratigraphie, paléoenvironnement, géochronologie et occupations paléolithiques. *Quaternaire*, 25 (4), 321-368, doi: 10.4000/quaternaire.7278.
- 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, doi:10.1016/j.quaint.2015.11.036.
- AUGUSTE P., SÉVÈQUE N. & LOUGUET S., 2022 - La mésofaune et macrofaune mammalienne de Waziers (Nord), Le Bas-Terroir (Campagnes 2014-2015). Données Paléontologiques. *Quaternaire*, 33 (4), 311-322.
- BAHAIN J.-J., GHALEB B., SHAO Q. & FALGUÈRES C., 2022a - Datation du site de Waziers (Nord de la France) par uranium-thorium (U-Th) et Résonance de Spin électronique combinée à l'uranium-thorium (ESR/U-Th). *Quaternaire*, 33 (4), 279-290.
- BAHAIN J.-J., FARKH S., FALGUÈRES C., SHAO Q., VOINCHET P., GHALEB B., HÉRISSEON D., LOCHT J.-L., LIMONDIN-LOZOUET N., AUGUSTE P., GAUTHIER A., DABKOWSKI J., DESCHODT L. & ANTOINE P., 2022b - ESR/U-series dating Eemian human occupations of Northern France. *Quaternary Geochronology*, 71, 101305, doi.org/10.1016/j.quageo.2022.101305.
- BERTRAN P., ANDRIEUX E., ANTOINE P., DESCHODT L., FONT M. & SICILIA D., 2017 - Pleistocene Involutions and Patterned Ground in France: Examples and Analysis Using a GIS Database: Pleistocene Involutions and Patterned Ground in France. *Permafrost and Periglacial Processes*, 28 (4), 710-725, doi:10.1002/ppp.1957.
- BREWER S., GUIOT J., SÁNCHEZ-GOÑI M.F. & KLOTZ S., 2008 - The climate in Europe during the Eemian: a multi-method approach using pollen data. *Quaternary Science Reviews*, 27 (25-26), 2303-2315.
- BRULHET J. & PETIT-MAIRE N. (éds.), 1999 - *La France pendant les deux derniers extrêmes climatiques : variabilité naturelle des environnements. Cartes au 1/1 000 000 et notice explicative : 1. Le dernier maximum glaciaire (18 000 ± 2 000 ans BP), 2. L'optimum holocène (8 000 ± 1 000 ans BP)*. Collection Sciences & techniques, 184B, Chatenay-Malabry, Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs (ANDRA) & Comité National Français de Union Internationale pour l'Étude du Quaternaire (CNF-INQUA), 59 p.
- BRYANT J. D., LUZ B. & FROELICH F. N., 1994 - Oxygen isotopic composition of fossil horse tooth phosphate as a record of continental paleoclimate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 107, 303-316.
- CAPRON É., GOVINA A. & STONE E.J., 2017 - Recent advances on the dynamical representation and our understanding of the warmer-than-present last interglacial climate. *Quaternaire*, 28 (2), 185-193.
- CHAMBERS J.M. & HASTIE T.J. (EDS.), 1992 - *Statistical Models in S*. Chapman & Hall computer science series, New York, 624 p.
- CHARETTE M.A. & SMITH W.H., 2010 - The volume of Earth's ocean. *Oceanography*, 23 (2), 112-114.
- CROWSON R.A., SHOWERS W.J., WRIGHT E.K. & HOERING T.C., 1991 - Preparation of phosphate samples for oxygen isotope analysis. *Analytical chemistry*, 63 (20), 2397-2400.
- DABKOWSKI J., ROYLE S.H., ANTOINE P., MARCA-BELL A. & ANDREWS J.E., 2015 - High-Resolution $\delta^{18}\text{O}$ Seasonality Record in a French Eemian Tufa Stromatolite (Caours, Somme Basin). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 438, 277-284, doi: 10.1016/j.palaeo.2015.08.017.
- D'ANGELA D. & LONGINELLI A., 1990 - Oxygen isotopes in living mammal's bone phosphate: Further results. *Chemical Geology (Isotope Geoscience Section)*, 86, 75-82.
- DE BEAULIEU J.-L., ANDRIEU-PONEL V., CHEDDADI R., GUITER F., RAVAZZI C., REILLE M. & ROSSI S., 2006 - Apport des longues séquences lacustres à la connaissance des variations des climats et des paysages pléistocènes. *Comptes Rendus Palevol*, 5, 65-72, doi:10.1016/j.crpv.2005.11.016
- DELGADO HUERTAS A., IACUMIN P., STENNI B., SÁNCHEZ CHILLÓN B. & LONGINELLI A., 1995 - Oxygen isotope variations of phosphate in mammalian bone and tooth enamel. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 59, N°20, 4299-4305.
- DESCHODT L., ANTOINE P., JAMET G., PETITE Y., HÉRISSEON D., COUTARD S. & LIMONIN-LOZOUET N., 2022 - Waziers (Plaine de la Scarpe, Nord de la France): synthèse lithostratigraphique des observations effectuées de 2011 à 2015. *Quaternaire*, 33 (4), 247-272.
- DOME FUJI ICE CORE PROJECT MEMBERS, 2017 - State dependence of climatic instability over the past 720,000 years from Antarctic ice cores and climate modeling. *Science Advances*, 3 (2), e1600446, doi: 10.1126/sciadv.1600446.
- DUPLESSY J.-C., LABEYRIE L. & WELBROECK C., 2002 - Constraints on the ocean oxygen isotopic enrichment between the Last Glacial Maximum and the Holocene: Paleooceanographic implications. *Quaternary Science Reviews*, 21 (1-3), 315-330.
- ECKER M., BOCHERENS H., JULIEN M.-A., RIVALS F., RAYNAL J.-P. & MONCEL M.-H., 2013 - Middle Pleistocene ecology and Neanderthal subsistence: Insights from stable isotope analyses in Payre (Ardèche, southeastern France). *Journal of Human Evolution*, 65, 363-373.
- FABRE M., LÉCUYER C., BRUGAL J.-P., AMIOT R., FOUREL F. & MARTINEAU F., 2011 - Late Pleistocene climatic change in the French Jura (Gigny) recorded in the $\delta^{18}\text{O}$ of phosphate from ungulate tooth enamel. *Quaternary Research*, 75, 605-613.
- FAIRBANKS R.G., 1989 - A 17,000-year glacio-eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation. *Nature*, 342 (6250), 637-642.
- FISCHER H., MEISSNER K.J., MIX A.C., ABRAM N.J., AUSTERMANN J., BROVKN V., CAPRON E., COLOMBAROLI D., DANIAU A.-L., DYEZ K.A., FELIS T., FINKELSTEIN S.A., JACCARD S.L., MCCLYMONT E.L., ROVERE A., SUTTER J., WOLFF E.W., AFFOLTER S., BAKKER P., BALLESTEROS-CÁNOVAS J.A., BARBANTE C., CALEY T., CARLSON A.E., CHURAKOVA O., CORTESI G., CUMMING B.F., DAVIS B.A.S., DE VERNAL A., EMILE-GEAY J., FRITZ S.C., GIERZ P., GOTTSCHALK J., HOLLOWAY M.D., JOOS F., KUCERA M., LOUTRE M.-F., LUNT D.J., MARCISZ K., MARLON J.R., MARTINEZ P., MASSON-DELMOTTE V., NEHRBASS-AHLES C., OTTO-BLIESNER B.L., RAIBLE C.C., RISEBROBKEN B., SÁNCHEZ GOÑI M.F., SALEEM ARRIGO J., SARNTHEIN M., SJOLTE J., STOCKER T.F., VELASQUEZ ALVÁREZ P.A., TINNER W., VALDES P.J., VOGEL H., WANNER H., YAN Q., YU Z., ZIEGLER M. & ZHOU L., 2018 - Palaeoclimate constraints on the impact of 2°C anthropogenic warming and beyond. *Nature Geoscience*, 11, 474-485, doi:10.1038/s41561-018-0146-0.
- FOUREL F., MARTINEAU F., LÉCUYER C., KUPKA H.J., LANGE L., OJEMI C. & SEED M., 2011. $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ratios measurements of inorganic and organic materials by EA-Pyrolysis-IRMS continuous flow techniques. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 25, 2691-2696.

- FRICKE H., CLYDE W. C. & O'NEIL J., 1998 - Intra-tooth variations in $\delta^{18}\text{O}$ (PO₄) of mammalian tooth enamel as a record of seasonal variations in continental climate variables. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **62**, 1389-1850.
- GAUTHIER A., 2022 - Dynamique de la végétation et changements environnementaux en réponse aux variations climatiques de la fin du Saalien à l'Eemien : résultats de l'analyse palynologique. *Quaternaire*, **33** (4), 291-299.
- GEBHARDT C., KÜHL N., HENSE A. & LITT T., 2007 - Reconstruction of Quaternary temperature fields by dynamically consistent smoothing. *Climate dynamics*, **30** (4), 421-437, doi:10.1007/s00382-007-0299-9.
- GORNITZ V. (ed.), 2009 - *Encyclopedia of paleoclimatology and ancient environments*. Encyclopedia of earth sciences series. Springer, Dordrecht, Netherlands, New York, 1047 p., doi: 10.1007/978-1-4020-4411-3.
- HÉRISSON D., DESCHODT L., ANTOINE P., LOCHT J.-L., LACROIX S., SERGENT A., PETITE Y., VALLIN L., RORIVE S., SIMON F. & NOÛS C., 2022 - Waziers, Le Bas-Terroir : historique de dix années de recherches archéologiques et géomorphologiques dans un marais pléistocène de la plaine de la Scarpe (2011-2021). *Quaternaire*, **33** (4), 225-246.
- HÉRISSON D., ANTOINE P., AUGUSTE P., BAHAIN J., DESCHODT L., GAUTHIER A., GHALEB B., HULIN G., JAMET G., LECUYER C., LIMONDIN-LOZOUET N., MASSON B., PONEP P., SÉVÈQUE N. & VALLIN L., 2015 - *Rapport de fouille programmée Waziers « Le Bas Terroir ». Année 2015*. Rapport d'opération de recherches archéologiques programmées, INRAP, UMR8591 du CNRS, Ministère de la Culture, 123 p.
- HÉRISSON D., LOCHT J.-L., VALLIN L., MASSON B., HULIN G., VIRMOUX C., DESCHODT L., ANTOINE P., COUTARD S., LIMONDIN-LOZOUET N., GAUTHIER A., PONEP P., BAHAIN J., TOMBRET O., GHALEB B., AUGUSTE P., SEVEQUE N., LEFEBVRE S., LÉCUYER C., AMIOT R., DEVIDET M., CHICAT-LEFORT T., ALI A., POIRIER P. & FIELD M., 2017 - *Rapport de fouille programmée Waziers « Le Bas Terroir ». Première année de la triennale 2017-2019*. Rapport de fouille programmée, 241 p.
- HILLAIRES-MARCEL C. & CAUSSE C., 1989 - The late Pleistocene Laurentide Glacier: Th/U dating of its major fluctuations and $\delta^{18}\text{O}$ range of the ice. *Quaternary Research*, **32** (2), 125-138.
- HOPPE K., STOVER S., PASCOE J. & AMUNDSON R., 2004 - Tooth enamel biomineralization in extant horses: implications for isotopic microsampling. *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **26**, 355-365.
- JOUZEL J., MASSON-DELMOTTE V., CATTANI O., DREYFUS G., FALOURD S., HOFFMANN G., MINSTER B., NOUET J., BARNOLA J.-M. & CHAPPELLAZ J., 2007 - Orbital and millennial Antarctic climate variability over the past 800,000 years. *Science*, **317** (5839), 793-796.
- KASPAR F., KÜHL N., CUBASCH U. & LITT T., 2005 - A model-data comparison of European temperatures in the Eemian interglacial. *Geophysical Research Letters*, **32** (11), L11703, doi:10.1029/2005GL022456.
- KOHN M. J., SCHOENINGER M. J. & VALLEY J. W., 1996 - Herbivore tooth oxygen isotope compositions: Effects of diet and physiology. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **60**, N° 20, 3889-3896.
- LAMBECK K., ROUBY H., PURCELL A., SUN Y. & SAMBRIDGE M., 2014 - Sea level and global ice volumes from the Last Glacial Maximum to the Holocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **111** (43), 15296-15303.
- LANDAIS A., BARKAN E. & LUZ B., 2008 - Record of $\delta^{18}\text{O}$ and ^{17}O -excess in ice from Vostok Antarctica during the last 150,000 years. *Geophysical Research Letters*, **35** (2), L02709, doi:10.1029/2007GL032096.
- LANGLOIS C., SIMON L. & LÉCUYER C., 2003 - Box-modeling of bone and tooth phosphate oxygen isotope compositions as a function of environmental and physiological parameters. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, **39** (4), 259-272, doi.org/10.1080/10256010310001621146.
- LÉCUYER C., GRANDJEAN P., O'NEIL J.R., CAPPETTA H. & MARTINEAU F., 1993 - Thermal excursions in the ocean at the Cretaceous — Tertiary boundary (northern Morocco): $\delta^{18}\text{O}$ record of phosphatic fish debris. *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **105** (3-4), 235-243.
- LÉCUYER C., HILLAIRES-MARCEL C., BURKE A., JULIEN M.-A. & HÉLIE J.-F., 2021 - Temperature and precipitation regime in LGM human refugia of southwestern Europe inferred from $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ of large mammal remains. *Quaternary Science Reviews*, **255**, 106796, doi: 10.1016/j.quascirev.2021.106796.
- LIMONDIN-LOZOUET N., 2022 - Waziers (Plaine de la Scarpe, Nord de la France): données malacologiques. *Quaternaire*, **33** (4), 301-310.
- LISIECKI L.E. & RAYMO M.E., 2005 - A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records. *Paleoceanography*, **20** (1), 10.1029/2004PA001071.
- LOCHT J.-L., VALLIN L., DESCHODT L., ANTOINE P., HÉRISSON D., MASSON B., AUGUSTE P. & LEFEBVRE S., 2014 - *Rapport de fouille programmée Waziers « Le Bas Terroir »*. Rapport d'opération de recherches archéologiques programmées, INRAP, UMR8591 du CNRS, Ministère de la Culture, 138 p.
- LONGINELLI A., 1984 - Oxygen isotopes in mammal bone phosphate: a new tool for paleohydrological and paleoclimatological research? *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **48**, 385-390.
- LUZ B. & KOLODNY Y., 1985 - Oxygen isotope variations in phosphate of biogenic apatites, IV. Mammal teeth and bones. *Earth and Planetary Science Letters*, **75**, 29-36.
- MARCHAND N., 2017 - *Suivi de la température de surface du sol en zones de pergélisol Arctique par l'utilisation de données de télédétection satellite assimilées dans le schéma de surface du modèle climatique canadien (CLASS)*. Thèse de doctorat, Université de Sherbrooke (Québec, Canada) et Université de Grenoble Alpes (France), 191 p.
- MARÉCHAL C., BOUTIER A., MÉLIÈRES M.-A., CLAUZEL T., BETANCORT J.F., LOMOSCHITZ A., MECO J., FOUREL F., BARRAL A. & AMIOT R., 2020 - Last Interglacial sea surface warming during the sea-level highstand in the Canary Islands: Implications for the Canary Current and the upwelling off African coast. *Quaternary Science Reviews*, **234**, 106246, doi: 10.1016/j.quascirev.2020.106246.
- MASSON-DELMOTTE V., SCHULZ M., ABE-OUCHI A., BEER J., GANOPOLSKI A., GONZÁLEZ ROUCO J.G., JANSEN E., LAMBECK K., LUTERBACHER J., NAISH T., OSBORN T., OTTO-BLIESNER B., QUINN T., RAMESH R., ROJAS M., SHAO X. & TIMMERMANN A., 2013 - Information from paleoclimatic archives. In T. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex & P.M. Midgley P.M. (eds.), *Climate change 2013: the physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge university press, Cambridge, New York, 383-464.
- NORTH GREENLAND ICE CORE PROJECT MEMBERS, 2004 - High-resolution record of Northern Hemisphere climate extending into the Last Interglacial period. *Nature*, **431** (7005), 147-151, doi:10.1038/nature02805.
- OTTO-BLIESNER B.L., BRADY E.C., CLAUZEL G., TOMAS R., LEVIS S. & KOTHAVALA Z., 2006 - Last glacial maximum and Holocene climate in CCSM3. *Journal of Climate*, **19** (11), 2526-2544.
- PRYOR A., STEVENS R.E., O'CONNELL T.C. & LISTER J.R., 2014 - Quantification and propagation of errors when converting vertebrate biomineral oxygen isotope data to temperature for palaeoclimate reconstruction. *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **412**, 99-107.
- SÁNCHEZ CHILLÓN B., ALBERDI M. T., LEONE G., BONA-DONNA F. P., STENNI B. & LONGINELLI A., 1994 - Oxygen isotopic composition of fossil equid tooth and bone phosphate: an archive of difficult interpretation. *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **107**, 317-328.
- SCHRAG D.P., ADKINS J.F., MCINTYRE K., ALEXANDER J.L., HODELL D.A., CHARLES C.D. & MCMANUS J.F., 2002 - The oxygen isotopic composition of seawater during the Last Glacial Maximum. *Quaternary Science Reviews*, **21** (1-3), 331-342.
- 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.
- SIMA A., PAUL A., SCHULZ M. & OERLEMANS J., 2006 - Modeling the oxygen-isotopic composition of the North American Ice Sheet and its effect on the isotopic composition of the ocean during the last glacial cycle. *Geophysical Research Letters*, **33** (15), doi: 10.1029/2006GL026923.
- SIMMS A.R., LISIECKI L., GEBBIE G., WHITEHOUSE P.L. & CLARK J.F., 2019 - Balancing the last glacial maximum (LGM) sea-level budget. *Quaternary Science Reviews*, **205**, 143-153.
- SKRZYPEK G., WIŚNIEWSKI A. & GRIERSON P.F., 2011 - How cold was it for Neanderthals moving to Central Europe during warm phases of the last glaciation? *Quaternary Science Reviews*, **30** (5-6), 481-487, doi:10.1016/j.quascirev.2010.12.018.
- SKRZYPEK G., SADLER R. & WIŚNIEWSKI A., 2016 - Reassessment of recommendations for processing mammal phosphate $\delta^{18}\text{O}$

- data for paleotemperature reconstruction. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **446**, 162–167, doi.org/10.1016/j.palaeo.2016.01.032.
- SNYDER C.W., 2016** - Evolution of global temperature over the past two million years. *Nature*, **538** (7624), 226-228, doi: 10.1038/nature19798.
- STEVENS R., BALASSE M. & O'CONNELL T., 2011** - Intra-tooth oxygen isotope variation in a known population of red deer: Implications for past climate and seasonality reconstructions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **301**, 64-74.
- TOMÉ C. & VIGNE J-D., 2003** - Roe deer (*Capreolus capreolus*) age at death estimates: New methods and modern reference data for tooth eruption and wear, and for epiphyseal fusion. *Archaeofauna*, **12**, 157-173.
- WAELEBROECK C., LABEYRIE L., MICHEL E., DUPLESSY J.C., MCMANUS J.F., LAMBECK K., BALBON E. & LABRACHERIE M., 2002** - Sea-level and deep water temperature changes derived from benthic foraminifera isotopic records. *Quaternary science reviews*, **21** (1-3), 295-305.

LISTE DES RELECTEURS AYANT ÉVALUÉ DES ARTICLES EN 2022
(articles publiés ou refusés)

Chakroun AMEL, Valérie ANDRIEU, Hassan AOURAGHE, Marie BALASSE, Emmanuel CHAPRON, Sylvie COUTARD, Hervé CUBIZOLLE, Camille DAUJEARD, Magali DELMAS, Magali FABRE, Agnès GAUTHIER, Aurora GRANDAL-D'ANGLADE, Adrien GONNET, Bernard HÉTU, Arnaud HUREL, Christelle LAHAYE, Jean-Jacques MACAIRE, Frédéric MAGNIN, Mohamed MAANAN, Vivien MATHÉ, Yannick MIRAS, Carlo MOLOGNI, Jacques MOUTHON, Julienne PIANA, Charlotte PRUD'HOMME, Mailys RICHARD, Mathieu RUÉ, Maria Fernanda SÁNCHEZ-GOÑI, William Weimer SHILTS, Emmanuelle STOETZEL, Agnès TESTU, Antigone UZUNIDIS, Antoine VELLA, Pierre VOINCHET

Sommaire du volume 34 (2022)

Céline COUSSOT, Philippe GARDERE & Morgane LIARD: Contribution de l'archéologie préventive à la connaissance des séquences pléistocènes de plateaux et de versants d'origine éolienne dans le sud-ouest du bassin parisien (région Centre-Val-de-Loire)	1
<i>Aeolian deposits of plateaus and slopes Pleistocene sequences in the Southwest Parisian basin (Centre-Val-de-Loire, France), the contribution of rescue archaeology</i>	
Chloé GARCIA, Pierre ANTOINE & Boris BRASSEUR: Les séquences tourbeuses des fonds de vallées du bassin de la Somme (France): historique des recherches, diversité des concepts et perspectives	25
<i>Peat sequences of the Somme basin valley floor (France): history of researches, diversity of concepts and perspectives</i>	
Johann GALDIES: The bears of the European steppe: a review	47
<i>Les ours de la steppe européenne: un état de l'art</i>	
Benjamin AUDIARD: Le bois, archive des changements climatiques entre mer et montagne du Paléolithique moyen au Mésolithique: composition isotopique (¹³C/¹²C), reconstitutions paléoclimatiques, histoire des forêts et interactions hommes/milieu	63
<i>Wood, an archive of climatic changes between sea and mountains from the Middle Palaeolithic to Mesolithic: isotopic composition (¹³C/¹²C), palaeoclimatic reconstructions, forest history and human/environment interactions</i>	
Kim GENUITE: Paléogéographies et reconstitution Géomorphologique 3D: application aux environnements de sites ornés	67
<i>3D geomorphological evolution of rock art sites and landscape</i>	
William RAPUC: Les grands lacs périalpins: archives du fonctionnement de la zone critique	71
<i>The large perialpine lakes: archives of the earth's critical zone</i>	
*	
* *	
Gilles RIXHON: A question of time: historical overview and modern thought on Quaternary dating methods to produce fluvial chronologies	75
<i>Une question de temps: aperçu historique et réflexion contemporaine sur les méthodes de datation du Quaternaire pour produire des chronologies fluviales</i>	
Serge OCCHIETTI, Najat BHIRY, Jean-Marie DUBOIS, Étienne GOVARE, Pierre J.H. RICHARD & Francine ROBERT: St. Lawrence ice stream overflow on the Northern edge of the middle estuary during the Bølling-Allerød and response of the laurentide ice sheet margin to the intra-Allerød cold period in Southern Québec, Canada	99
<i>Débordement du courant glaciaire du Saint-Laurent sur la bordure nord du moyen estuaire pendant le Bølling-Allerød et réponse de la marge de l'inlandsis laurentidien à l'IACP au sud du Québec, Canada</i>	
Amélie DUQUESNE: Trajectoire d'évolution d'un cours d'eau à faible énergie au cours du second Holocène: la Charente entre Angoulême et Saintes	143
<i>Evolutionary trajectory of a low-energy river during the second Holocene: the Charente river between Angoulême and Saintes</i>	
Ségolène VANDEVELDE: There is no soot without fire! Micro-chronological study of fuliginous carbonated deposits. Case study: Mandrin cave (France) Palaeolithic site	147
<i>Y'a pas de suie sans feu! Etude micro-chronologique des concrétions fuligineuses. étude de cas: le site paléolithique de la Grotte Mandrin (France)</i>	
*	
* *	

Touria MOUHSINE Fethi AMANI, & Abdeslam MIKDAD: <i>Agama bibronii</i> (Sauria: Agamidae) et <i>Chamaeleo chamaeleon</i> (Sauria: Chamaeleonidae) d'Ifri n'Ammar (Rif oriental, Maroc).....	151
<i>Agama bibronii</i> (Sauria: Agamidae) and <i>Chamaeleo chamaeleon</i> (Sauria: Chamaeleonidae) from Ifri n'Ammar (Eastern Rif, Morocco)	
Michel MAGNY, Agnès VÉROT, Eyméric MORIN, Hervé RICHARD, Florent HINSCHBERGER, André MARGUET, Robin BRIGAND & Franck GABAYET: Variations du niveau du lac d'Annecy (Haute-Savoie, France) au cours de l'Holocène : implications paléoclimatiques et archéologiques	169
<i>Holocene lake-level fluctuations of lake Annecy (Haute-Savoie, France): palaeoclimatic and archaeological implications</i>	
David AOUSTIN, Pascal BERTRAN & Chantal LEROYER: Late MIS 3 interstadial vegetation in coversands at Saint-Vincent-de-Paul, Southwest France	193
<i>Végétation interstadienne de la fin du SIM 3 dans les sables éoliens landais à Saint-Vincent-de-Paul, sud-ouest de la France</i>	
Melody BIETTE: Fluctuations glaciaires holocènes au Groënland. Contribution des datations cosmogéniques <i>in situ</i>	207
<i>Holocene glaciers fluctuations in Greenland. Contribution of the in situ cosmogenic exposure datings</i>	
Sophie COSTA: Évolution socio-environnementale des oasis depuis les 5 derniers millénaires dans le sud-est arabe (oasis de Ras al-Khaimah et Masafi, Émirats Arabes Unis): approches géoarchéologique et géochimique	211
<i>Oases socio-environmental evolution over the last 5 millennia in Southeast Arabia (Ras al-Khaimah and Masafi oases, United Arab Emirates): geoarchaeological and geochemical approaches</i>	
Maxime LEBLANC: Étude des périodes humides africaines enregistrées au cours des deux derniers cycles climatiques à partir de la caractérisation de poussières sahariennes enregistrées en Méditerranée occidentale et dans l'océan Atlantique Tropical Nord-Est	215
<i>Study of African humid periods recorded through the last two climatic cycles from the characterization of Saharan dust deposited in the Western Mediterranean and in the Northeastern Atlantic Tropical Ocean</i>	
Renaldo GASTINEAU: Paléosismologie lacustre et géophysique appliquées au lac d'Iznik (Turquie): contribution à l'étude de la branche médiane de la faille Nord-Anatolienne	219
<i>Lacustrine palaeoseismology and geophysics applied to lake Iznik (Turkey): contribution to the study of the middle branch of the North Anatolian fault</i>	
*	
* *	
Laurent DESCHODT & David HÉRISSON: Waziers le Bas-Terroir, une zone péri-urbaine pas tout à fait comme les autres. Avant-Propos	223
<i>Waziers le Bas-Terroir, a peri-urban area not quite like others. Forewords</i>	
David HÉRISSON, Laurent DESCHODT, Pierre ANTOINE, Jean-Luc LOCHT, Samuel LACROIX, Angélique SERGENT, Yann PETITE, Luc VALLIN, Sylvie RORIVE, Frédéric SIMON & Camille NOÛS: Waziers, le Bas-Terroir: historique de dix années de recherches archéologiques et géomorphologiques dans un marais pléistocène de la plaine de la Scarpe (2011-2021)	225
<i>Waziers, le Bas-Terroir: history of ten years of archaeological research in a Pleistocene marsh of the Scarpe plain (2011-2021)</i>	
Laurent DESCHODT, Pierre ANTOINE, Guillaume JAMET, Yann PETITE, David HÉRISSON, Sylvie COUTARD & Nicole LIMONDIN-LOZOUET: Waziers « Bas-Terroir » (plaine de la Scarpe, Nord de la France): synthèse lithostratigraphique des observations effectuées de 2011 à 2015	247
<i>Waziers (Scarpe plain, Northern France): lithostratigraphic synthesis of observations conducted from 2011 to 2015</i>	
Guillaume HULIN & Clément VIRMOUX: Waziers « Bas-Terroir » (plaine de la Scarpe, Nord de la France): les explorations géophysiques d'une formation alluviale eemienne	273
<i>Waziers "Bas-Terroir" (Scarpe plain, Northern France): geophysical explorations of an Eemian alluvial formation</i>	

RÈGLES DE MISE EN LIGNE DE LA REVUE *QUATERNAIRE* ET DÉPÔT D'ARTICLES EN LIGNE EN OPEN ACCESS

Le CNRS ainsi que d'autres organismes publics ou privés ont créé des serveurs permettant de déposer en accès libre des documents scientifiques de toutes les disciplines, afin de faciliter « *la communication scientifique entre chercheurs* ». Cependant, **l'accord de l'éditeur est requis pour la publication sur le web des documents publiés sous son label.**

Les règles retenues par la revue *Quaternaire* concernant la mise en ligne sont les suivantes :

La collection 1964-2004 de la revue *Quaternaire* est mise en ligne en accès libre via le portail Persée (<http://www.persee.fr/collection/quate>).

Pour les fascicules publiés après 2005, la mise en ligne est assurée par le site Revues.org (<https://journals.openedition.org/quaternaire/>) et le CLEO avec une barrière mobile de deux années durant lesquelles les articles dans leur intégralité ne peuvent être accessibles.

* Les articles publiés avant la barrière mobile de deux ans peuvent donc être diffusés en intégralité (i.e. à la date de fin 2018, articles publiés jusqu'au fascicule 3 de 2016).

* Pour les articles publiés dans la revue et étant encore inclus au sein de la barrière mobile, seuls le titre, le résumé et la référence de la publication peuvent figurer sur les serveurs en libre accès.

* En aucun cas des articles soumis ou sous-presse ne peuvent être diffusés en ligne, sous peine de l'annulation de la publication par la revue *Quaternaire*.

* Pour les autres cas, comme la publication dans le cadre de la collection *Quaternaire hors série*, les auteurs doivent demander l'accord des éditeurs de la revue *Quaternaire*.

Achevé d'imprimer en décembre 2022
par Ciaco Imprimerie, Louvain-la-Neuve – <http://www.ciaco.com>

N° d'impression: 104671

Imprimé en Belgique

Imprimé sur du papier ayant reçu le label écologique de l'UE
EU Ecolabel: PT/11/002

RÈGLES DE PUBLICATION

QUATERNAIRE est une revue internationale, publiée sous l'égide de l'AFEQ. Elle accepte des articles traitant de tous les aspects de l'étude du Quaternaire et plus particulièrement ceux basés sur une démarche interdisciplinaire. Les opinions émises n'engagent que la responsabilité des signataires. Les articles sont obligatoirement soumis au Comité de lecture qui consulte deux spécialistes du thème traité. Des modifications plus ou moins importantes peuvent être demandées à l'auteur.

QUATERNAIRE publie des articles brefs (4-6 pages maximum, illustrations comprises) et des articles longs (15-20 pages maximum, illustrations comprises) ainsi que des analyses d'ouvrage. Une page imprimée au format de la revue (21 x 29,7 cm) comporte en moyenne 6 000 signes et intervalles. Les dépassements sont tolérés, **mais leur coût d'impression est alors entièrement à la charge des auteurs**. Les articles brefs bénéficient d'un délai d'impression court (le premier numéro à paraître). Les articles longs sont imprimés selon le programme de la revue.

Texte - *QUATERNAIRE* est publié en français ou en anglais. Le titre, le résumé, les mots-clés et les légendes des illustrations doivent obligatoirement être rédigés dans les deux langues. Le texte doit être présenté sur un format 21 x 29,7 cm à double interligne avec une marge gauche de 3 cm et ordonné comme suit: titre (court, mais explicite en français et anglais); prénoms et noms des auteurs, adresses professionnelles et e-mail; résumé et abstract conséquent; mots-clés (en français et anglais); texte principal; bibliographie; titres et légendes des illustrations à la suite de l'article en fin de fichier, en français et anglais. La revue n'accepte pas les notes de bas de page.

Illustrations - Les illustrations doivent être réductibles à une taille maximum de 17 x 24 cm et ne doivent en aucun cas dépasser le format A4. Il est recommandé d'adapter la taille des figures soit à la largeur totale du format de la revue (17 cm) soit à la largeur d'une colonne (8 cm). Les originaux des figures dessinées par ordinateur, de préférence déjà réduits à la taille d'impression finale, devront être enregistrés à une résolution élevée (≥ 600 DPI). Les photographies bien contrastées doivent être regroupées sur une même planche et comporter les échelles. **Les photographies et figures en couleurs sont acceptées mais leur coût d'impression est à la charge des auteurs**. Toutes les illustrations (figures, tableaux et planches) seront numérotées en chiffres arabes.

Dans le cas où des illustrations provenant de documents déjà publiés sont utilisées, l'auteur doit avoir sollicité obligatoirement au préalable l'autorisation de reproduction auprès des ayants-droits. Une copie de l'autorisation doit être jointe à l'envoi du manuscrit.

Références bibliographiques - La liste des références comportera toutes les références citées dans le texte, les figures et les légendes des figures. Elles doivent être présentées par ordre alphabétique, puis chronologique (sans tenir compte des auteurs multiples). Les noms des périodiques seront donnés in extenso. Se conformer à la présentation des exemples suivants:

BRIDGLAND D.R. & D'OLIER B., 1995 - The Pleistocene evolution of the Thames and Rhine drainage systems in the southern North Sea basin. In R.C. Preece (ed.), *Island Britain: a Quaternary perspective*. Geological Society Special Publication, London, **96**. The Geological Society, London, 27-45.

GIRET A., 1995 - Etude des déformations quaternaires du Roussillon. *Quaternaire*, **6** (3-4), 121-137.

PUISSÉGUR J.J., 1976 - *Mollusques continentaux quaternaires de Bourgogne*. Mémoires Géologiques de l'Université de Dijon, **3**. Doin, Paris, 241 p.

Modalités de l'acceptation et de l'impression - Le manuscrit doit être envoyé en 1 exemplaire sous forme d'un fichier PDF (texte et figures) au Directeur de la publication.

Le manuscrit définitif doit être fourni sous forme d'une version numérique (Formats d'enregistrement: texte en WORD-PC ou RTF, tableaux en Excel PC, illustrations (en 600 dpi) en Adobe-Illustrator ou Adobe-Photoshop ou EPS, PICT, TIFF). Les premières épreuves sont

envoyées pour correction à l'auteur (en cas de plusieurs cosignataires, au premier d'entre eux seulement). **Les corrections d'auteur (c'est-à-dire modification du texte manuscrit définitif) seront facturées**. Un PDF sera fourni gratuitement après publication.

INSTRUCTIONS TO AUTHORS

QUATERNAIRE is an international journal published by the AFEQ. Papers on all aspects of Quaternary research are accepted, multidisciplinary studies are recommended. Papers published in *QUATERNAIRE* represent the opinions of the authors. Manuscripts are submitted to the editor committee and sent to two reviewers. Modifications might be asked to the authors.

Short papers should not exceed 4-6 printed pages (including figures) and long papers should not exceed 15-20 printed pages (including figures). One printed page (size 21 x 29.7 cm) corresponds broadly to 6000 letters and spaces. The authors will be charged for exceeding pages (pages, pictures and tables). Short papers are published quickly i.e. the next author issue, long papers are printed according to the program of the journal.

Text - *QUATERNAIRE* accepts papers in French or English. Title, abstract, key-words and figure captions must appear in French and English. The text must be typewritten on one side of standard-sized paper (21 x 29.7 cm), double spaced and with a 3 cm left margin. Manuscript should be arranged in the following order: title (informative but brief, in French and in English); author's name; professional address and e mail; abstract in English and in French ("résumé"); key-words in French and English ("mots-clés"); main text; references; captions of illustrations (in English and in French), in the same file but after the end of the paper. Footnotes are not accepted.

Illustrations - Illustrations should be reducible to a maximum size of 17 x 24 cm. It is recommended that figures be constructed either for the entire width of the type area (17 cm) or for the column width of 8 cm. High-quality files of figures (at least 600 DPI), preferably reduced to the final size, will be provided with the final version of the manuscript. Photographs are to be sharply contrasted, grouped on the same plate and scaled. Colour photographs and illustrations are permitted provided the authors bear the cost. All illustrations (figures, tables and plates) should be numbered in Arab numerals.

When previously published illustrations are used, the author must have got the permission of publication directly with the rightful owners. Copy of this permission must be sent with the manuscript.

References - All publications cited in the text, the figures and the captions should be listed. References should be presented in alphabetical and chronological order, journal names must not be abbreviated, examples:

BRIDGLAND D.R. & D'OLIER B., 1995 - The Pleistocene evolution of the Thames and Rhine drainage systems in the southern North Sea basin. In R.C. Preece (ed.), *Island Britain: a Quaternary perspective*. Geological Society Special Publication, London, **96**. The Geological Society, London, 27-45.

GIRET A., 1995 - Etude des déformations quaternaires du Roussillon. *Quaternaire*, **6** (3-4), 121-137.

PUISSÉGUR J.J., 1976 - *Mollusques continentaux quaternaires de Bourgogne*. Mémoires Géologiques de l'Université de Dijon, **3**. Doin, Paris, 241 p.

Modalities of acceptance and printing - A PDF file (text and illustrations) of the manuscript has to be sent to the Editor. After revision authors will send high-quality files of their paper: text in WORD for PC or RTF, tables in EXCEL for PC, illustrations (in 600 DPI) in Adobe-Illustrator, Adobe-Photoshop or EPS, TIFF, PICT. Proofs will be sent to the first author. The author will be charged for changes against the manuscript made by him in the proof. A free PDF file will be provided after publication.