



HAL
open science

Rapport de prospection thématique à Villedieu-sur-Indre (36) “ Approche multiscalaire des dynamiques environnementales et anthropiques de la moyenne vallée de l’Indre ”

Francesca Di Napoli, S. Coubray, Frédéric Epaud, Philippe Gardère, Bastien Gouhier, Fiona Kildea, Léa Mairaville, Bénédicte Pradat, Jérémy Rollin, Gérard Coulon, et al.

► To cite this version:

Francesca Di Napoli, S. Coubray, Frédéric Epaud, Philippe Gardère, Bastien Gouhier, et al.. Rapport de prospection thématique à Villedieu-sur-Indre (36) “ Approche multiscalaire des dynamiques environnementales et anthropiques de la moyenne vallée de l’Indre ”. INRAP Centre Ile de France. 2024. hal-04602999

HAL Id: hal-04602999

<https://hal.science/hal-04602999>

Submitted on 6 Jun 2024

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.

Remerciements

Comme l'année dernière, je renouvelle mes remerciements à tous les acteurs qui ont rendu réalisable cette opération scientifique.

Je remercie tout d'abord les propriétaires qui nous ont autorisé l'accès à leurs parcelles : M. Ventruoli, père et fils, et M. Brouard, propriétaires des parcelles sur le Camp de César ; M. et Madame Besnard ainsi que leur fille Julie, M. Doiseau, M. B. et J.-E Morin qui nous ont renouvelé les autorisations accordées en 2021 ; la communauté de communes de Brenne Val-de-Creuse, les communes de Villedieu-sur-Indre et la Chapelle Orthemale pour avoir mis à disposition des terrains et des locaux pour les différentes actions; le maire de Villedieu-sur-Indre, M. X. Elbaz, pour avoir accepté de participer au financement d'une partie de l'opération et Mme D. Chavalier-Gontier, responsable de la communication et valorisation à Villedieu-sur-Indre, pour l'organisation des journées du patrimoine. Un merci particulier est adressé à M. L. Dody, directeur des services techniques de la mairie de Villedieu-sur-Indre, qui non seulement a été notre interlocuteur privilégié pour la logistique et la mise en œuvre de l'opération mais a également fait partie de notre équipe en tant que bénévole. Il figure par ailleurs parmi les auteurs du présent rapport.

Je remercie le G.H.A.B. et son directeur M. L. Mabile ainsi que M. G. Coulon de nous avoir mis à disposition le mobilier céramique et la documentation des fouilles des fours de potier de Mehun pour une reprise de l'étude.

Et, toujours, un merci particulier est adressé à mon équipe de terrain et post-fouille pour son aide précieuse et son soutien tout au long de cette opération : Philippe Gardère et Fiona Kildea puis Sylvie Coubray, Frédéric Epaud, Léa Mairaville, Bénédicte Pradat, Jérémy Rollin, Bastien Gouhier, Damase Mouralis et Dominique Todisco.

Table des matières

1	Introduction.....	5
1.1	Objectifs du programme de prospection thématique.....	5
1.2	Acquis de la prospection thématique de 2021.....	5
1.3	Le programme de recherche de la campagne 2022.....	7
2	Données administratives, techniques et scientifiques.....	9
2.1	Arrêté de prescription en annexe, suivi scientifique.....	9
2.2	Equipe et compétences.....	9
2.3	Moyens humains et financiers.....	10
2.4	Déroulement de la prospection.....	11
2.4.1	Phase de terrain.....	11
2.4.2	Phase de post-fouille.....	12
2.4.3	Valorisation lors des JEP 2022 et communications scientifiques.....	13
3	Les résultats de la campagne de prospection 2022.....	15
3.1	Axe 1 : approche de la morpho-dynamique de la plaine alluviale à l’Holocène (Ph. Gardère, L. Mairaville, F. Kildea).....	15
3.2	Axe 2 : Etude des anomalies circulaires identifiées en fond de vallée.....	15
3.2.1	Sondage dans la butte.....	15
3.2.2	Essai d’interprétation.....	18
3.3	Axe 3 : caractérisation du contexte archéologique.....	18
3.3.1	Prospection magnétique sur le Camp de César (F. Di Napoli et B ; Gouhier ; annexe 9).....	19
3.3.2	Architecture en milieu humide (F. Di Napoli et F. Epaud, ; annexe 10).....	26
3.3.3	Prospection aérienne par drone (F. Di Napoli, L. Dody, F. Kildea ; annexe 11). 31	
3.4	Axe 4 : reprise du matériel et de la documentation ancienne.....	35
3.4.1	La collection Audoux au GHAB.....	35
3.4.2	Les fours de potiers de Mehun.....	35
4	Synthèse des données de la campagne 2022 et perspectives de recherche.....	36
4.1	Acquisitions à la lumière des résultats des deux campagnes de prospection.....	36
4.2	Perspectives de recherches futures.....	38

BIBLIOGRAPHIE

LISTE DE FIGURES ET ANNEXES

ANNEXE 1

ANNEXE2

ANNEXE 3

ANNEXE 4

ANNEXE 5

ANNEXE 6

ANNEXE 7

ANNEXE 8

ANNEXE 9

ANNEXE 10

ANNEXE 11

1 Introduction

1.1 Objectifs du programme de prospection thématique

Cette opération correspond à une deuxième année de programme de prospections thématiques dont l'objectif principal est de documenter dans la diachronie les contextes archéologiques et environnementaux d'un tronçon de la moyenne vallée de l'Indre à hauteur de Villedieu-sur-Indre au travers de différentes approches méthodologiques. La genèse du projet, explicitée lors du précédent rapport (DI NAPOLI *et al.* 2021 a), est représentée par une opération de diagnostic réalisée en 2018 par une équipe de l'INRAP ; cette dernière a révélé l'existence, en fond de vallée en rive gauche de l'Indre, d'un paléochenal à comblement organique attribué à la chronozone du Boréal ainsi que des vestiges d'occupations de La Tène ancienne et finale en milieu humide dont l'état de conservation est remarquable (KILDEA *et al.* 2019 a ; DI NAPOLI *et al.* 2019). Les questionnements ont porté alors sur l'articulation de ces occupations en zone inondable, en lien supposé avec la proximité du cours de l'Indre, avec les agglomérations de Villedieu et de Mehun d'une part, et d'autre part avec les pôles situés en surplomb de la vallée : le Camp de César, le tumulus de Chambon et le champ tumulaire du Bois-Moret, éléments structurants du paysage archéologique protohistorique de Villedieu-sur-Indre mais dont la connaissance se limitait à des prospections de surface. La découverte d'archives naturelles exceptionnelles documentant un état ancien de la vallée de l'Indre est aussi à l'origine de ce projet avec l'opportunité de documenter l'évolution du paysage et son appropriation par l'Homme. Une équipe de recherche pluridisciplinaire a été constituée afin de poursuivre les investigations sur un territoire élargi de part et d'autre de l'Indre dans l'optique de documenter l'évolution des interactions homme-milieu dans ce territoire à très fort potentiel archéologique.

1.2 Acquis de la prospection thématique de 2021

Au cours de la première année d'opération, plusieurs thématiques (étude environnementale, des modalités d'occupation du territoire et recensement des données archéologiques à partir de collections et documentations anciennes) ont été développées au sein d'une fenêtre d'observation élargie autour de l'emprise du diagnostic de 2018 (parcelles non accessibles du fait du refus du propriétaire). Ces thématiques transversales ont été déclinées en axes et réalisées en faisant appel à différentes méthodes d'investigation lors de la phase de terrain et post-fouille :

- *Axe 1.* Voué à la compréhension de la morphologie et de la dynamique de la plaine alluviale à l'Holocène, à travers l'acquisition de données paléoenvironnementales et

chronostratigraphiques, cet axe a été appréhendé grâce à l'identification d'anciens chenaux sur la cartographie LiDar, une prospection géophysique (résistivité et électromagnétisme) et la réalisation d'une série de sondages à la tarière. Ces derniers ont permis de comprendre la géométrie et la nature des dépôts sédimentaires et d'obtenir des échantillons organiques (macrorestes végétaux, pollens) dans des séquences sédimentaires issues de différents faciès (plaine alluviale récente, chenaux du Boréal) (DI NAPOLI *et al.* 2021 a).

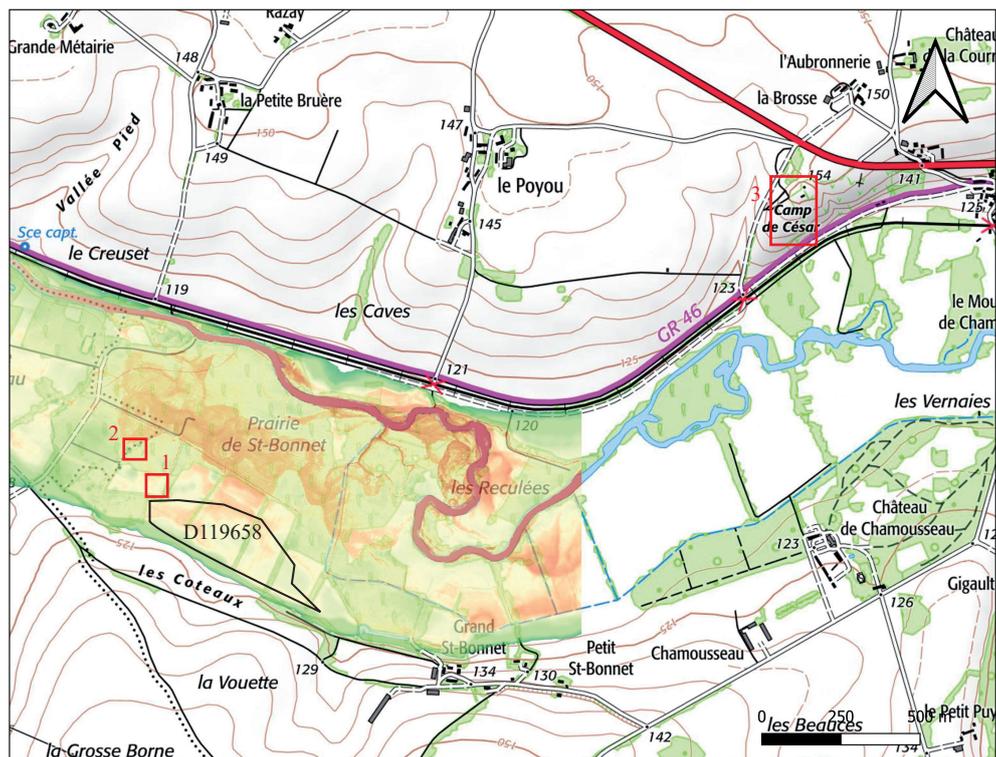
Parmi eux, une série de 8 échantillons de macrorestes organiques (bois et coquille de noisette) issus de ces mêmes séquences ont été confiés pour datation C14 au laboratoire universitaire du CEN de l'université de Laval (Québec). Les résultats, disponibles en début 2022, seront exposés dans le rapport de cette année (**paragraphe 3.1.1**).

- *Axe 2*. Cet axe s'est attaché à l'étude des anomalies circulaires identifiées en fond de vallée. Les analyses menées ont pour objectif de déterminer la nature de ces structures : aménagements anthropiques (tertres ?) ou structures alluviales (barres de chenal ?). L'abord de ces structures a été réalisé par l'examen du relief sur le terrain, des relevés LiDar, des photographies aériennes, de la prospection géophysique, et de sondages à la tarière au pied d'une butte dont il a été possible de restituer la coupe (DI NAPOLI *et al.* 2021 a).
- *Axe 3* : La documentation du contexte archéologique du secteur de Villedieu-sur-Indre a été réalisée par une série de prospections pédestres, l'analyse de photographies aériennes complétées par l'interrogation de la carte archéologique. De nouveaux sites (l'atelier métallurgique du Marché Veron, l'occupation gallo-romaine des Sables au Carrefour de Varenne) viennent s'ajouter aux occupations déjà connues par la carte archéologique, telles l'agglomération antique de Villedieu-sur-Indre, l'atelier de potiers gaulois de Mehun, les axes de circulation (voies et gués) et les zones funéraires protohistoriques (tumulus de Chambon et champ tumulaire du Bois Moret) parmi les plus importantes (DI NAPOLI *et al.* 2021 a : 30-46).
- *Axe 4* : Complémentaire à l'axe 3, la reprise de la documentation relative aux collections anciennes a permis de réaliser un premier bilan des prospections de D. Audoux sur le champ tumulaire du Bois Moret et l'occupation laténienne du Camp de César (DI NAPOLI *et al.* 2021 a : 47-64).

1.1 Le programme de recherche de la campagne 2022

En accord avec le Service Régional de l'Archéologie et la CTRA, l'opération de prospection thématique a été reconduite en 2022 pour une deuxième année dans le but de compléter les acquisitions et définir les thématiques de recherche. Les investigations ont été poursuivies selon les axes précédemment définis :

- *Axe 1* : la caractérisation de la dynamique de la plaine alluviale à l'Holocène a été poursuivie en réalisant plusieurs sondages mécaniques dans un tronçon du chenal du Boréal préalablement repéré en 2021 grâce à la prospection géophysique et les sondages à la tarière (**fig. 1.1**). Le volet des analyses paléoenvironnementales (carpologie, anthracologie, entomologie) a été développé grâce à une série de prélèvements réalisés sur le terrain au sein du comblement organique du paléochenal (*infra 3.1*).
- *Axe 2* : La recherche de la nature des anomalies circulaires identifiées en fond de vallée par la photographie aérienne, la cartographie LiDar et le sondage à la tarière de 2021 a été poursuivie en rectifiant la coupe d'un actuel fossé de drainage recoupant en partie deux buttes contiguës (**fig. 1.1**) (*infra 3.2*).
- *Axe 3* : la caractérisation du contexte archéologique de part et d'autre de L'Indre dans la diachronie a été recherchée par le biais de plusieurs actions. Une prospection magnétique a été réalisée sur une partie de l'éperon barré du Camp de César (**fig. 1.1**) (*infra 3.3.1*). Une série de clichés aériens réalisés sur le territoire de Villedieu lors de la sécheresse de cet été a permis de mettre en lumière et cartographier de nombreux sites non répertoriés par la carte archéologique soulignant ainsi le fort potentiel archéologique du territoire (*infra 3.3.3*). La caractérisation de l'architecture en milieu inondable du fond de vallée, a été abordée par la reprise de l'étude des vestiges du poteau du bâtiment laténien découvert lors du diagnostic (KILDEA *et al.* 2019 : 71). L'interprétation de ce dernier est mise en perspective avec les architectures sur pilotis actuellement documentées en bordure de l'Indre (*infra 3.3.2*).
- *Axe 4* : l'examen du mobilier issu des prospections du Bois Moret et du Camp de César annoncé pour cette année n'a pas pu aboutir suite au refus d'accès à la collection



- 1 = parcelle ZL0054, Villedieu-Sur-Indre, axe 1, sondages mécaniques dans paléochenal
 - 2 = parcelle ZA0105, La Chapelle Orthemale, axe 2, sondage mécanique dans anomalie circulaire
 - 3 = parcelle ZM0072, Villedieu-Sur-Indre, axe 3, prospection magnétique Camp de César
- D119658 = Emprise du diagnostic 2018 (Kildea et al. 2019).

Fig. 1.1 : Localisation des actions des axes 1, 2 et 3.

Audoux, actuellement en cours d'inventaire et recollement de la part du GHAB, son propriétaire. Il a été toutefois possible d'accéder au mobilier céramique provenant des fours de potiers laténiens découverts à Mehun (COULON et ODIOT 1980 a : 6-94) afin de réactualiser l'étude à la lumière des nouvelles découvertes menées dans le territoire biturige et plus largement dans la région (*infra* 4.2).

2 Données administratives, techniques et scientifiques

2.1 Arrêté de prescription en annexe, suivi scientifique

Arrêté n° : **22/0161** en date 24/02/2022 (**annexe 1**)

Région : Centre-Val-de-Loire

Département : Indre

Commune : Villedieu-sur-Indre et La Chapelle Orthemale

Code opération : **0613000**

Responsable scientifique : Di Napoli Francesca

Suivi scientifique : P. Alilaire, SRA Centre-Val-de-Loire, Orléans

Parcelles : **ZL 0054**, propriété de M. Besnard, **ZL0055**, propriété de la SAFER, **ZA0119** propriété de la communauté de communes de Brenne et Val de Creuse, **ZL0099** propriété de M. et Mme Doiseau, **ZM 0072** propriété de M. Ventruoli.

2.2 Equipe et compétences

Les institutions impliquées dans ce projet restent inchangées mais le nombre de participants se trouve augmenté et modifié par rapport à l'année précédente. Le travail a été réalisé par une équipe interinstitutionnelle composée de membres INRAP, CNRS, Université, étudiants et bénévoles. L'équipe, constituée de 12 chercheurs et bénévoles, a été élargie au fur et à mesure des besoins opérationnels.

- **Francesca Di Napoli**, responsable d'opération/céramologue, Inrap, UMR 7324 Citeres LAT
- **Fiona Kildea**, étude de la séquence Pléistocène et du mobilier lithique, Inrap UMR 8068 TEMPS
- **Philippe Gardère**, étude de la séquence Pléistocène et Holocène, Géomorphologue, Inrap, UMR 7324 Citeres LAT

- **Dominique Todisco** étude de la séquence Pléistocène et Holocène, maître de conférence à l'Université de Rouen, UMR IDEES 6266
- **Damase Mouralis**, étude de la séquence Pléistocène et Holocène, géologue, professeur à l'Université de Rouen, UMR IDEES 6266.
- **Frédéric Epaud**, étude des bois et de l'architecture en milieu humide, chercheur CNRS, Université de Tours-UMR 7324 Citeres-LAT
- **Sylvie Coubray**, analyse anthracologique, spécialiste Inrap UMR 7209 MNHN
- **Bénédicte Pradat**, analyse carpologique, spécialiste Inrap UMR 7209 MNHN
- **Léa Mairaville**, étude géoarchéologique, doctorante à l'Université de Rouen, contractuelle au laboratoire de Caen GEOPHEN, UMR CNRS 6266 (contrat de 78 h/mois en août 2022), puis convention d'accueil à l'Inrap (2 mois de novembre à décembre 2022).
- **Jérémy Rollin**, archéoentomologiste, doctorant à l'Université François Rabelais Tours, bénévole.
- **Bastien Gouhier**, géophysicien ARCHEO-GC.
- **Loïc Dody**, terrain et clichés aériens par drone, bénévole, directeur des services techniques à la mairie de Villedieu-sur-Indre.

2.3 Moyens humains et financiers

La demande de financement à hauteur de 7000 euros a été acceptée et notifiée par la DRAC dans le courant de l'année 2022 avec l'arrêté de prescription n° 22/0161 (**annexe 1**). Le projet a également bénéficié d'un financement de 500 euros mis à disposition par le laboratoire de l'Université de Tours (CITERES LAT UMR) ainsi que d'un co-financement à hauteur de 1000 euros de la part de la mairie de Villedieu-sur-Indre pour la location de la pelle mécanique. Le détail des dépenses effectuées dans le cadre de cette opération est spécifié dans l'annexe 2. L'annexe 3 présente en revanche les consommations de l'année précédente, oubliées lors du rendu du rapport 2021. Le projet étant porté par le LAT UMR 7324, la gestion financière a été confiée à l'Université de Tours.

La demande d'opération scientifique adressée à la DRAC en fin 2021 a été associée à une demande PAS destinée à la DST de l'INRAP pour l'obtention des jours hommes nécessaires à la mission sur le terrain, l'étude et la rédaction du rapport. Sur 30 jours demandés, 25 ont été accordés et repartis au sein des agents Inrap faisant partie de l'équipe.

2.4 Déroutement de la prospection

L'opération de cette année s'est déroulée à deux moments distincts : une phase d'intervention sur le terrain, programmée au début de l'été en raison des conditions particulièrement humides des terrains, inaccessibles en périodes automnales et hivernale et une phase de post-fouille calée en fin d'année afin de s'assurer de la disponibilité des résultats de laboratoire.

2.4.1 Phase de terrain

La phase terrain a eu lieu sur trois jours, du 8 au 10 juin ; pendant cette courte période des sondages à la pelle mécanique ont été effectués à deux endroits ciblés et pas très éloignés l'un de l'autre. Les opérations de cette phase ont été menées par une équipe de huit personnes, composée de chercheurs et bénévoles (F. Di Napoli, F. Kildea, P. Gardère, L. Dody, F. Epaud, L. Mairaville, D. Mouralis et D. Todisco)

- Une série de cinq sondages a été réalisée au fond de la parcelle **ZL0054** propriété de Mme Besnard à l'emplacement du paléochenal du Boréal mis en évidence par la prospection géophysique et par les carottages de 2021 (**fig. 1.1 et fig. 2.1**). Le but recherché, explicité dans l'axe 1, est la caractérisation sédimentologique des dépôts ainsi que la dynamique des apports sédimentaires dans la diachronie (**paragraphe 3.1**).



Figure 2.2 : sondages mécaniques au fond de la parcelle ZL0054 à l'emplacement du paléochenal du Boréal (cliché par drone L. Dody).

- Dans la deuxième zone, un sondage mécanique a permis la rectification d'une coupe préexistante créée par un fossé de drainage, recoupant en partie deux buttes circulaires situées à cheval entre les parcelles **ZL0055** sur la commune de Villedieu-sur-Indre,

propriété de la SAFER (parcelle boisée) et la parcelle **ZA0119** sur la commune de La Chapelle Orthemale propriété de la communauté de communes de Brenne et Val de Creuse (ancienne peupleraie en friche) (**fig. 1.1** et **fig. 2.2**). La caractérisation non destructive de la nature anthropique ou naturelle de ces ‘anomalies circulaires’ est à l’origine de cette action (*infra* 3.2).



Figure 2.2 : Révélé de susceptibilités magnétique sur la coupe de l’anomalie circulaire entre les parcelles ZA105 et ZL055 (photo F. Epaud).

Initialement non prévue en raison des priorités budgétaires, une prospection magnétique a finalement eu lieu le 16 septembre sur une partie de la parcelle **ZM 0072** propriété de M. Ventruoli, sur la commune de Villedieu-sur-Indre au lieu-dit le Camp de César (**fig. 1.1**). La prospection, réalisée par B. Gouhier de la Société Archéo-GI, visait à documenter l’organisation spatiale de cet éperon barré densément occupé à la fin de l’âge du Fer (DINAPOLI *et al.* 2021 a : 53-64) (*infra* 3.3.1 et annexe 9).

2.4.2 Phase de post-fouille

Lors de la phase de post-fouille l’équipe s’est vue agrémentée de spécialistes à qui ont été confiées les analyses paléoenvironnementales des prélèvements organiques issus du paléochenal boréal (S. Coubray pour l’anthracologie et B. Pradat pour la carpologie). J. Rollin, doctorant à l’Université de Tours et archéo-entomologiste a accepté d’analyser bénévolement un échantillon organique issu de ces mêmes niveaux (*infra* 3.1.1 et annexes 6, 7 et 8). L. Mairaville, doctorante en géoarchéologie à l’Université de Rouen, après avoir participé bénévolement à la phase de terrain, a bénéficié d’un contrat de 78h/mois qui s’est déroulé au laboratoire de Caen GEOPHEN, UMR CNRS 6266, ainsi que d’une convention d’accueil de

deux mois à l’Inrap entre novembre et décembre 2022. Cette participation lui a permis de se former en travaillant à partir des données de terrain sur les interprétations géoarchéologiques à travers différentes méthodes (perte au feu, granulométrie, susceptibilité magnétique, spectrométrie de fluorescence X). Ses conclusions sont intégrées dans le texte concernant les axes 1 et 2. Son étude, détaillant les méthodes, les outils utilisés et les résultats obtenus est présentée en annexe (*infra 3.1 et 3.2, axes 1 et 2 ; annexe 5*).

Les datations C14 des échantillons prélevés sur le terrain ont été confiées, comme l’année dernière, au laboratoire du CEN (Centre d’études Nordiques) rattaché à l’Université de Laval, au Québec (**annexe 4**). La réalisation des lames minces pour la micromorphologie des blocs prélevés dans la coupe de la butte a été confié au laboratoire PACEA UMR 5199 de l’Université de Bordeaux. Les lames, actuellement en cours d’imprégnation, seront prêtes en début 2023 et conservées pour une étude micromorphologique.

2.4.3 Valorisation lors des JEP 2022 et communications scientifiques

Dans l’optique de sensibiliser la population locale aux découvertes réalisées dans le cadre du projet et de valoriser le patrimoine archéologique du territoire, une équipe de quatre personnes (F. Cherdo, F. Di Napoli, P. Gardère, F. Kildea) a animé des ateliers pédagogiques lors du samedi des Journée Européennes du Patrimoine (17-18 septembre 2022 ; fig. 4). L’événement a été organisé grâce à la collaboration de la mairie de Villedieu-sur-Indre, représentée par l’adjointe D. Chevalier-Gontier.



Figure 2.3 : Animation d'ateliers archéologiques à Villedieu-sur-Indre lors des JEP 2022 (photo D. Chevalier-Gontier).

Les résultats de la prospection thématique ont fait l'objet d'une présentation lors du séminaire d'Archéologie du Paysage réalisé dans le cadre du master d'histoire, civilisation, patrimoine et sciences historiques de l'Université du Tours, le 6 octobre 2022 (F. Di Napoli, P. Gardère, L. Mairaville).

3 Les résultats de la campagne de prospection 2022

3.1 Axe 1 : approche de la morpho-dynamique de la plaine alluviale à l'Holocène (Ph. Gardère, L. Mairaville, F. Kildea)

3.1.1 Les datations C14 de 2021 – Intégration aux résultats obtenus en 2021

Lors de la campagne de septembre 2021 une série de 10 carottages manuels ont été réalisés sur plusieurs secteurs de la plaine alluviale de l'Indre après lecture de la cartographie Lidar qui montre à cet endroit l'emplacement de paléochenaux. L'analyse des logs des carottes a permis de retracer la succession sédimentaire ; des prélèvements de charbons de bois dans différents niveaux devaient permettre d'étalonner la chronologie (GARDERE in DI NAPOLI *et al.* 2021 b : 15-18). Préalablement à la campagne sur le terrain organisée dans le courant du mois de juin 2022, les datations radiocarbone des prélèvements obtenus en 2021 nous sont parvenues (**Annexe 4**). Les résultats initialement exprimés en âges conventionnels ont été convertis en âges cal BP (**Fig. 3.1 1**) par l'intermédiaire du logiciel ChronoModel 2.0 (LANOS & DUFRESNE 2019) en appliquant la courbe de calibration IntCal20 (REIMER *et al.* 2020).

Deux groupes de datations se détachent clairement. Un premier lot d'échantillons (carottages 1, 6 et 10) témoigne d'une phase de sédimentation récente, dans l'intervalle 1070 - 1677 cal BP (95%), au cours du Subatlantique, durant et après l'époque romaine. Ces prélèvements proviennent de dépôts de faible épaisseur, répartis uniformément sur toute la surface prospectée et probablement sur toute l'actuelle plaine alluviale de l'Indre dans le secteur de Villedieu-sur-Indre. Un second intervalle chronologique, sensiblement plus ancien, est représenté dans les dépôts profonds du carottage 9 et couvre un intervalle chronologique aux alentours de 9330 – 10280 cal BP (95%), correspondant au Boréal.

Le report des datations sur les logs et les transects sédimentaires confirme que la validité des hypothèses proposées dans le bilan de 2021 (**Fig. 3.1 2**). Les dépôts profonds, ponctuellement recoupés et encaissés dans les alluvions grossières Fy correspondent à des chenaux incisés et comblés au début de l'Holocène. Les dépôts les plus récents, largement répartis sur toute la plaine alluviale forment un couverture superficielle au-dessus des alluvions Fy et se sont mis en place au cours de la période historique, tout particulièrement entre l'extrême fin du V^e et le VIII^e siècle après J.-C.

Num	PVT	Année	Age conventionnel BP	Age Cal BP 95%	Age moyen cal BP
1	ZL86.Sd1-70-80 cm	2021	1575 ± 15	[1312 ; 1619]	1463 ± 15
2	ZL99.Sd6-95 cm	2021	1270 ± 15	[1093 ; 1351]	1228 ± 15
3	ZL99.Sd6-105 cm	2021	1260 ± 15	[1070 ; 1361]	1223 ± 15
4	ZL99.Sd6-117 cm	2021	1435 ± 15	[1263 ; 1388]	1326 ± 15
5	ZL54.Sd10-50-70 cm	2021	1655 ± 15	[1406 ; 1677]	1539 ± 15
6	ZL54.Sd9-160 cm	2021	8750 ± 20	[9370 ; 10085]	9731 ± 15
7	ZL54.Sd9-165 cm	2021	9055 ± 20	[10165 ; 10276]	10221 ± 15
8	ZL54.Sd9-170 cm	2021	8735 ± 25	[9332 ; 10063]	9692 ± 15
9	Tum US6 - ech 7	2022	1250 ± 15	[1010 ; 1401]	1208 ± 15
10	Tum int US6/4 ech1	2022	2455 ± 15	[2132 ; 3003]	2564 ± 15
11	Sd4 charbon	2022	2420 ± 15	[2126 ; 2790]	2441 ± 15

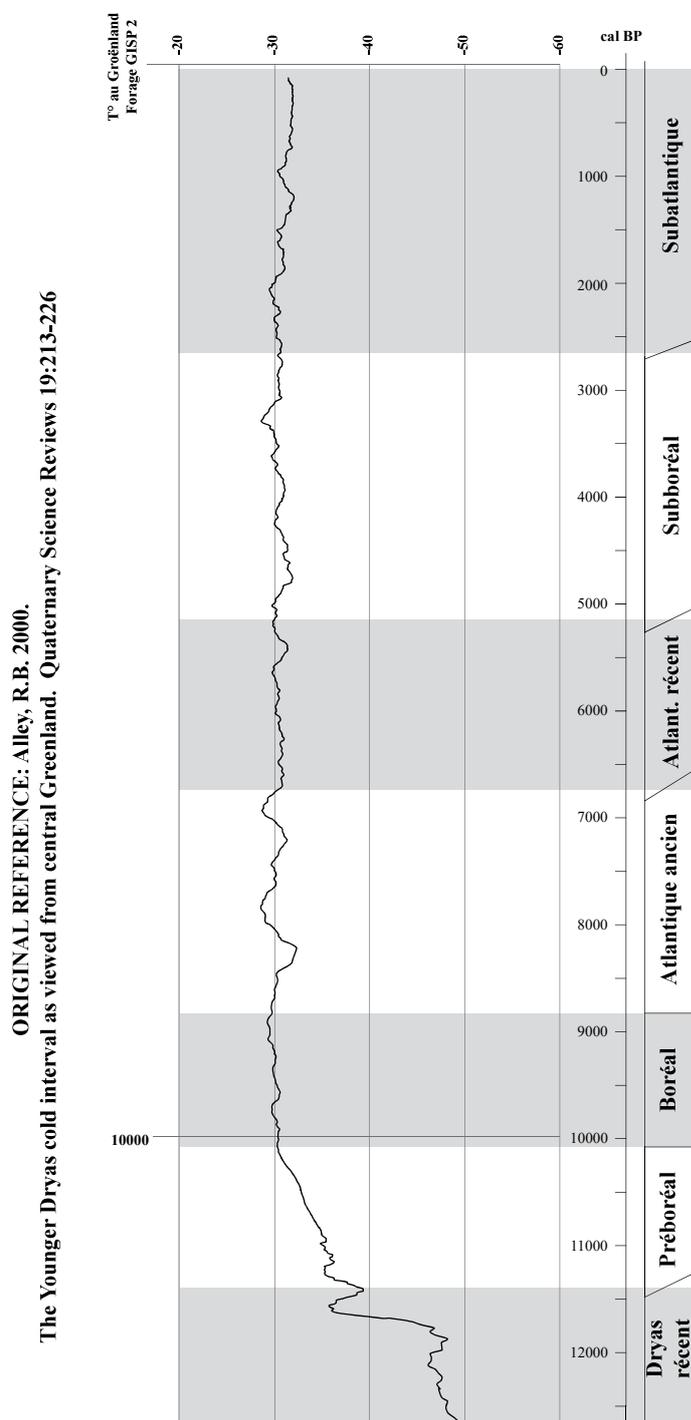


Fig. 3.1 1 Datations C14 des prélèvements de 2021

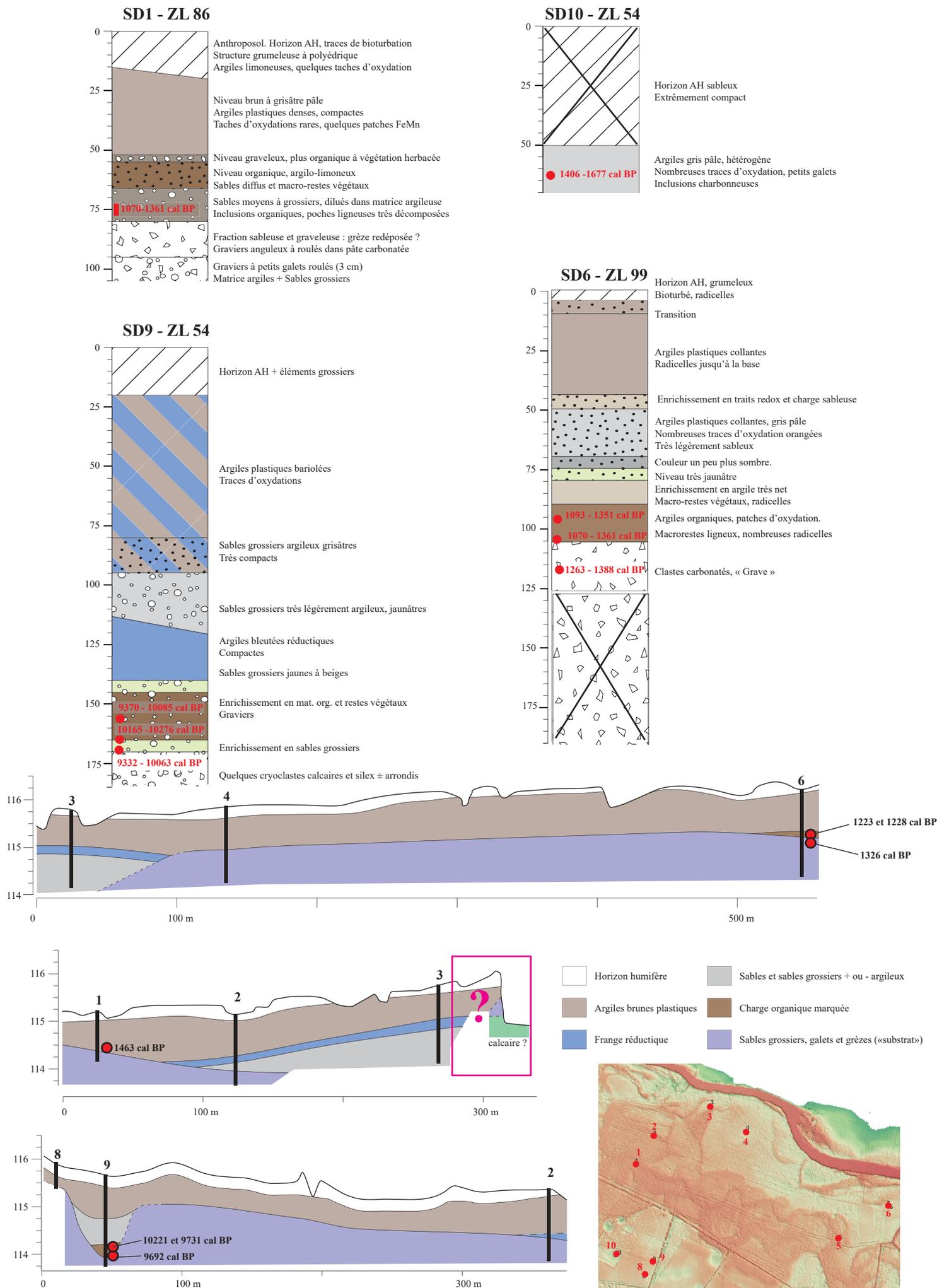


Fig. 3.1 2 Localisation des prélèvements et profils sédimentaires de 2021

3.1.2 Les sondages 2022

- Localisation des sondages et des prélèvements - Éléments de datation

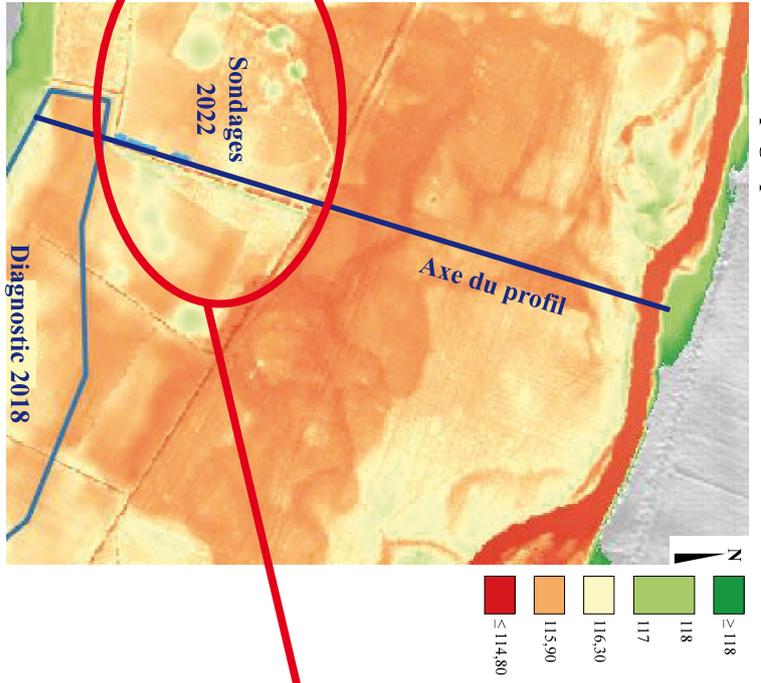
Les opérations sur le terrain de l'année 2022 ont en partie porté sur l'étude détaillée des deux phases sédimentaires précédemment mises en lumière. Le relevé Lidar ne figure pas clairement la présence de paléochenaux dans la zone d'investigation, au contraire des secteurs situés au nord et à l'est où les tracés sont bien lisibles dans les zones plus déprimées (**Fig. 3.1 3**). Suite aux données acquises en 2021, six sondages mécaniques ont été mis en place dans le secteur où les conditions d'observation apparaissaient être les plus favorables, à proximité des carottages 8 et 9, où la présence d'un chenal potentiel avait été détectée (**Fig. 3.1 3**). Les sédiments recoupés n'ont pas bénéficié de nouvelles datations : les faciès sédimentaires présentent de grandes similitudes avec les dépôts décrits et datés dans les carottages. Quatre prélèvements en vue de datations OSL sont toutefois conservés au CRA Inrap de Tours. Les niveaux organiques profonds (US 1006) sont contemporains et identiques à ceux détectés et datés par radiocarbone lors du diagnostic de 2018 (KILDEA *et al.* 2018), avec de nombreux fragments ligneux et éléments végétaux parmi lesquels des noisettes en abondance, également datés en 2021 dans le carottage 9 situé à environ 6 m au nord. Les dépôts peu épais présents sur toute la surface et situés au-dessus des dépôts de Fy (US 1002) sont strictement identiques à tous ceux rencontrés sous le sol actuel, durant le diagnostic tout comme à l'occasion des carottages. Les datations de 2021 les placent donc dans l'Holocène récent. Un fragment de céramique protohistorique ainsi qu'un charbon bien minéralisé, daté par C14 de 2441 ± 15 cal BP, (**Fig. 3.1 1 ; Annexe 4**) ont été retrouvés dans le sondage 5, à proximité de structures archéologiques (cf. *infra* : **Fig. 3.1 12**) suggèrent que les lieux ont été fréquentés entre la fin du premier et le début du second âge du Fer.

Le sondage 3 présentant la séquence la plus dilatée et la plus diversifiée, des prélèvements en vue de diverses analyses y ont été effectués sur toute la hauteur de la coupe (**Fig. 3.1 4**). Un échantillonnage complémentaire a été réalisé dans les sondages 5 (PXRF des dépôts supérieurs de la séquence) et 6 (granulométrie des alluvions sableuses). Ils ont pu être étudiés en termes de sédimentologie et de contenus entomologique et anthracologique (cf. *infra* ; **Annexes 5, 6, 7, 8**).

- Description des sédiments – Géométrie des dépôts

Des coupes et des logs ont été relevés dans les sondages 2 à 6 (**Fig. 3.1 4, 3.1 5, 3.1 6**), le sondage 1 a été trop rapidement envahi par l'eau pour bénéficier d'une description détaillée mais la séquence sédimentaire est comparable à celle du sondage 3, sans que les épaisseurs

Topographie de la vallée de l'Indre



Localisation des tranchées et sondages de 2022

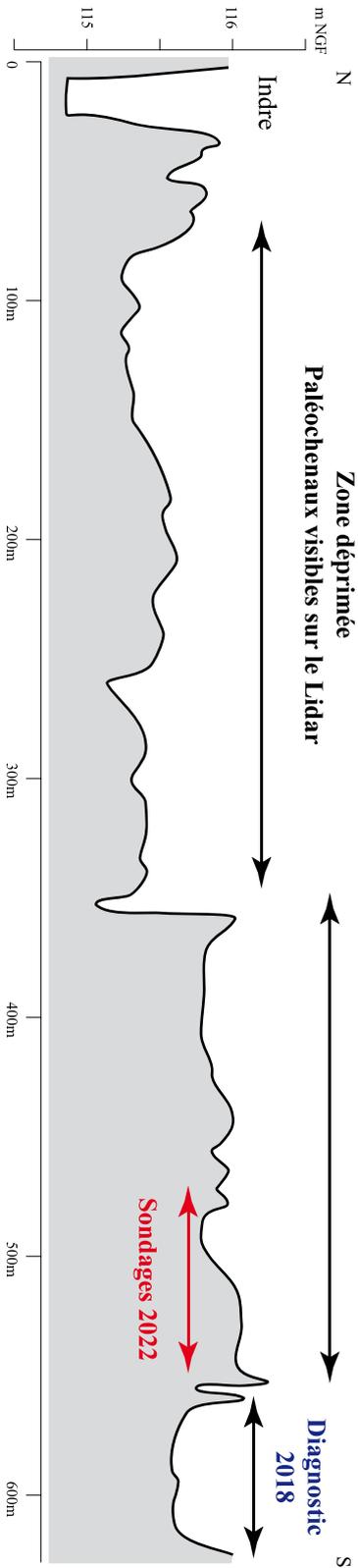
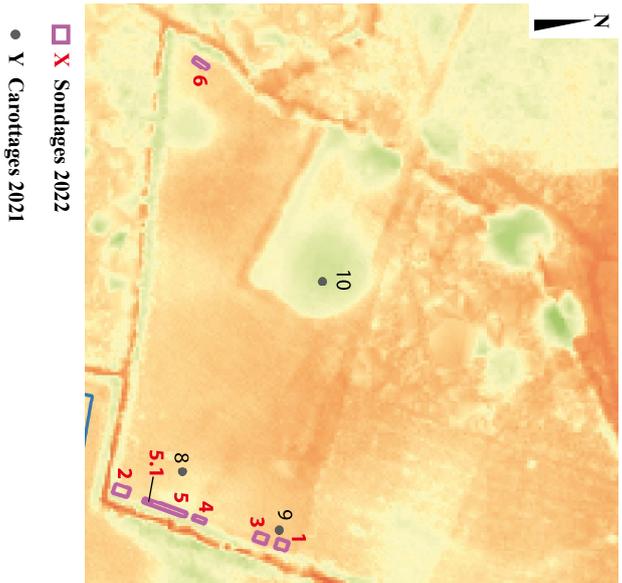


Fig. 3.1 3 Contexte topographique et implantation des sondages de 2022

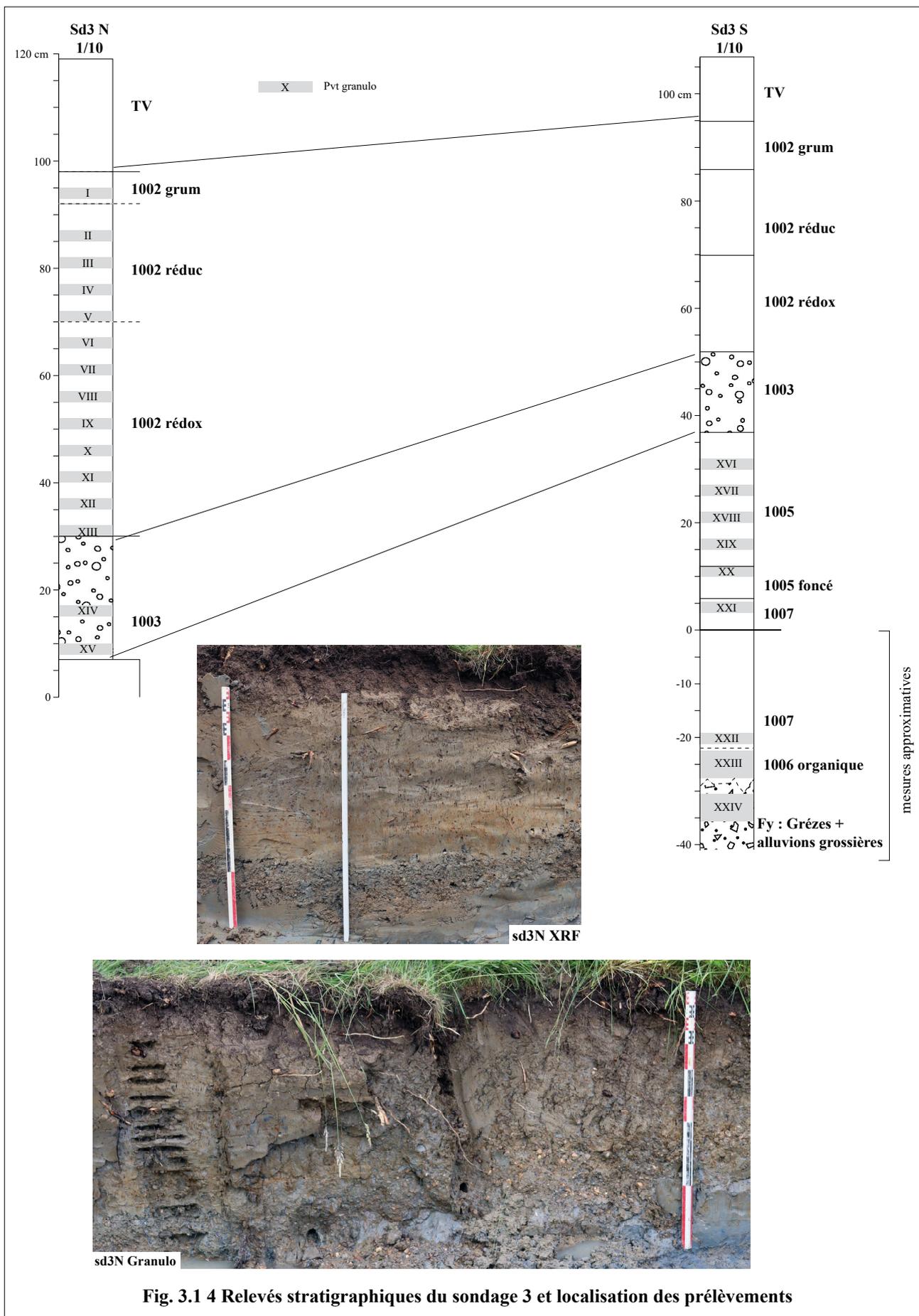


Fig. 3.1 4 Relevés stratigraphiques du sondage 3 et localisation des prélèvements

aient pu être précisées. La construction d'un transect met en lumière la géométrie des différents faciès sédimentaires (**Fig. 3.1 7**). Ce travail confirme les observations réalisées précédemment par les carottages, avec des dépôts anciens accumulés dans le comblement d'un chenal et des dépôts historiques étendus sur tout la surface de la plaine. Les dépôts les plus anciens sont constitués d'alluvions grossières et massives, mêlant galets de roches cristallines allochtones et écailles calcaires issues des grèzes présentes sur les versant des alentours. Ce premier ensemble correspond aux alluvions Fy, certainement mises en place durant le Pléistocène mais non datées dans le secteur. Le sommet de Fy est localement affecté par d'apparentes reprises sédimentaires. Celles-ci se manifestent par des intercalations de sables alluviaux de couleur claire, aux points topographiques où les alluvions anciennes se placent au plus près de la surface du sol actuel (**Fig. 3.1 6**). Enfin, les alluvions Fy sont présentes sur toutes les surfaces prospectées depuis 2018, elles constituent l'assise des dépôts postérieurs qui font l'objet de cette étude. Ceux-ci sont organisés en trois ensembles distincts : US 1006, 1007 et 1005 tout d'abord, US 1003 ensuite, et enfin US 1002 (divers sous-faciès) en sommet de séquence. La description des US telles qu'elles ont été perçues sur le terrain est la suivante :

- **Fy** : Alluvions sableuses grossières à galets de roches cristallines abondants et apports locaux de grèzes issues du versant (écailles cryoclastiques de calcaire). Intercalations de sables alluviaux grossiers bien triés et massifs dans la partie supérieure (reprises alluviales tardives ?)
- **1006** : Sédiment à forte teneur en matière organique. Caractérisé par la présence de macrorestes végétaux bien conservés (tronc de chênes et fruits divers dont noisettes). Base constituée de sable alluvial grossier bien trié en lentilles plus ou moins localisées (non prélevé). Equivalent des sables à la base du Sondage 6 ?
- **1007** : Argile massive de couleur bleue prononcée (hydromorphie)
- **1005 f (foncé)** : Transition entre US 1007 et 1005, se distingue par sa couleur intermédiaire entre les 2 ensembles
- **1005** : Argile massive de couleur grise plus ou moins prononcée. Présence d'auréoles d'oxydoréduction diffuses
- **1003** : Faciès de diamicton. Mélange hétérogène massif de sables grossiers et graviers alluviaux, sans aucun élément issu des grèzes du versant. Matrice fine peu représentée, couleur gris-bleue à la base pouvant prendre des teintes plus oxydées dans la partie supérieure

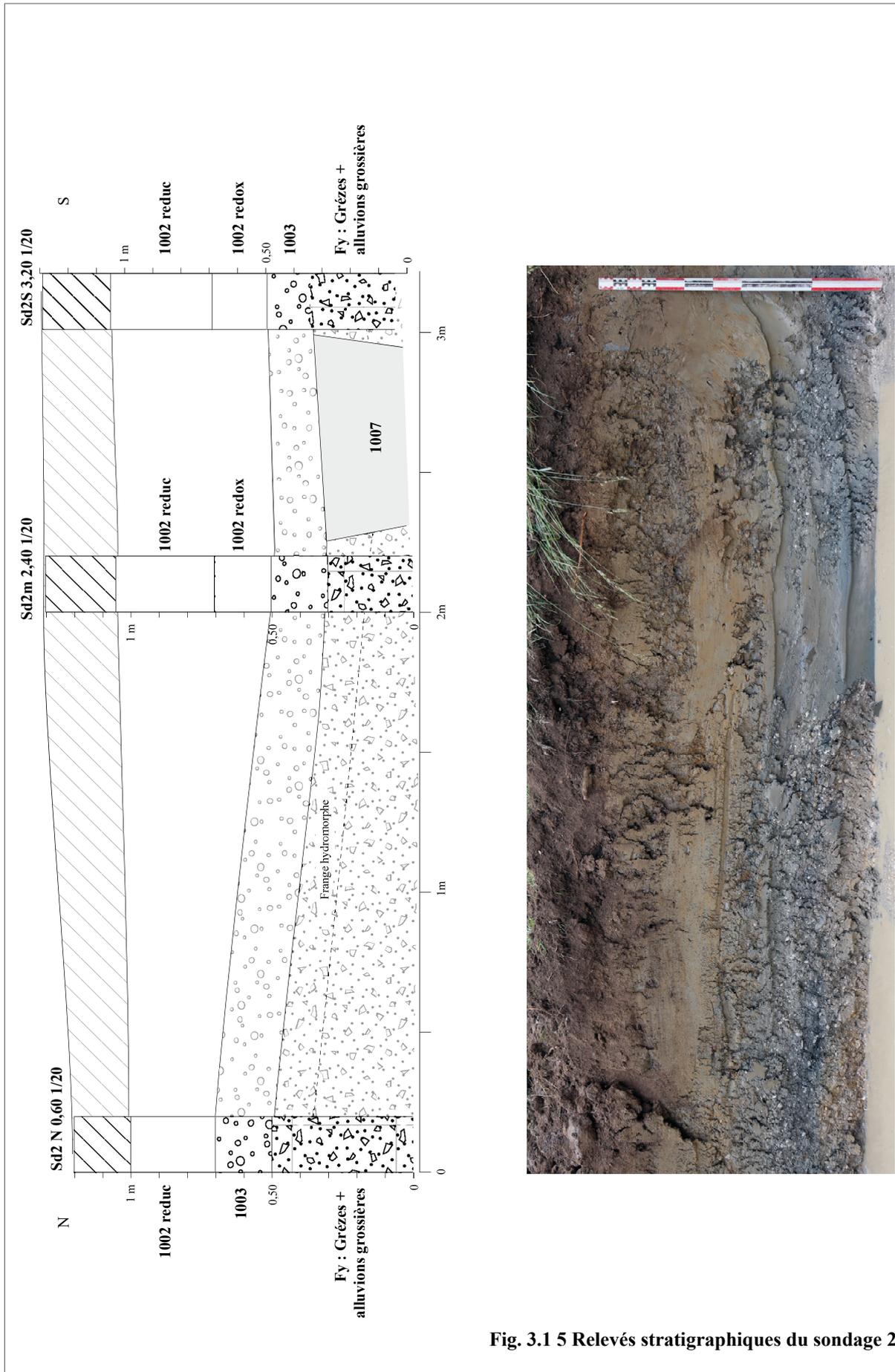


Fig. 3.1 5 Relevés stratigraphiques du sondage 2

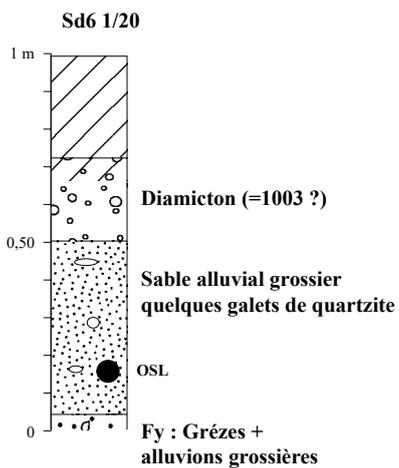
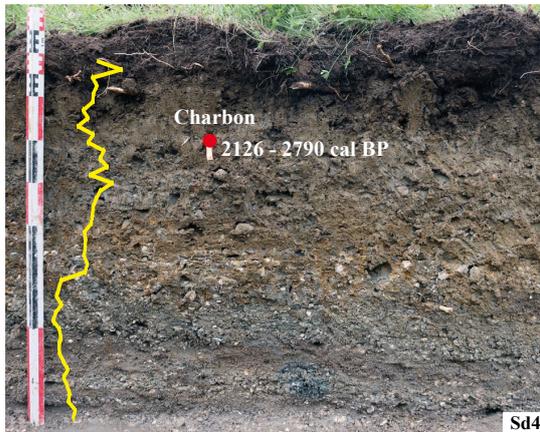
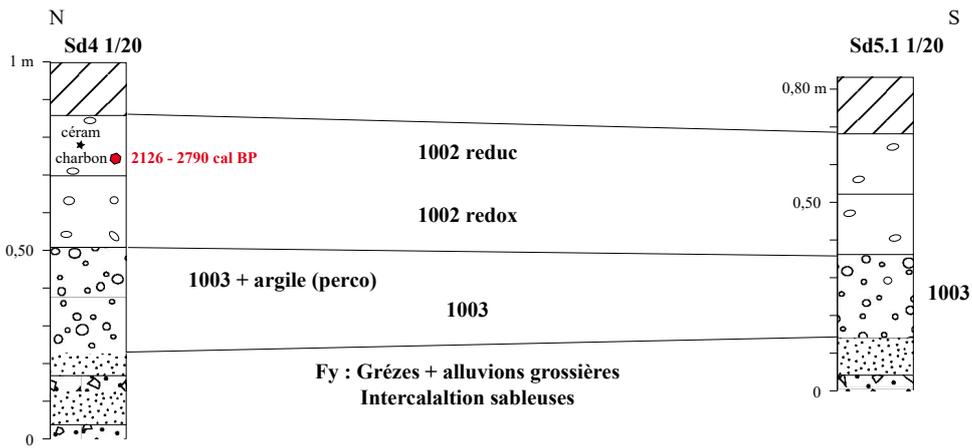


Fig. 3.1 6 Relevés stratigraphiques des sondages 4 , 5.1 et 6. Susceptibilité magnétique et prélèvement OSL

- **1002** : Argiles limoneuses à passées sableuses, massives. Les traits pédologiques récents et l'hydromorphie entraînent la distinction de trois sous-faciès. 1) **Rédox** : partie la plus basse de 1002 : couleur claire et auréoles d'oxydoréduction bien marquées. 2) **Réduc** : partie médiane du dépôt, contexte réductique marqué : couleur générale gris-bleue, auréoles noires d'oxydes ferromanganiques. 3) **Grum** : aspect proche de 1002 rédox mais bioturbée et présentant une structure à tendance grumeleuse bien marquée témoignant de la percolation de constituants organiques depuis le sol actuel, situé à son sommet.

Les dépôts les plus anciens de la séquence holocène sont les US 1006 (faciès organiques de la base), US 1007 et 1005 (limons sableux réductiques bleus). Ils se présentent sous la forme d'un comblement de chenal, avec une concentration de restes organiques datés du Boréal et associés à des sables alluviaux à leur base, (US 1006 cf. *infra* ; **Annexe 5**). La suite de la sédimentation témoigne d'un comblement à dominante limoneuse dans un contexte aujourd'hui très hydromorphe, les dépôts se situant dans la zone de battements saisonniers de la nappe phréatique (US 1007 puis 1005 cf. *infra* ; **Annexe 5**).

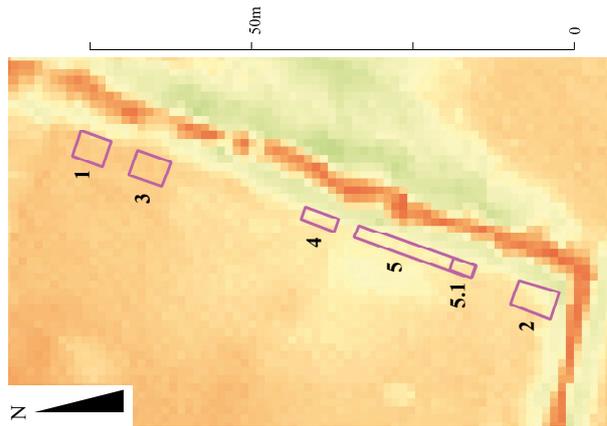
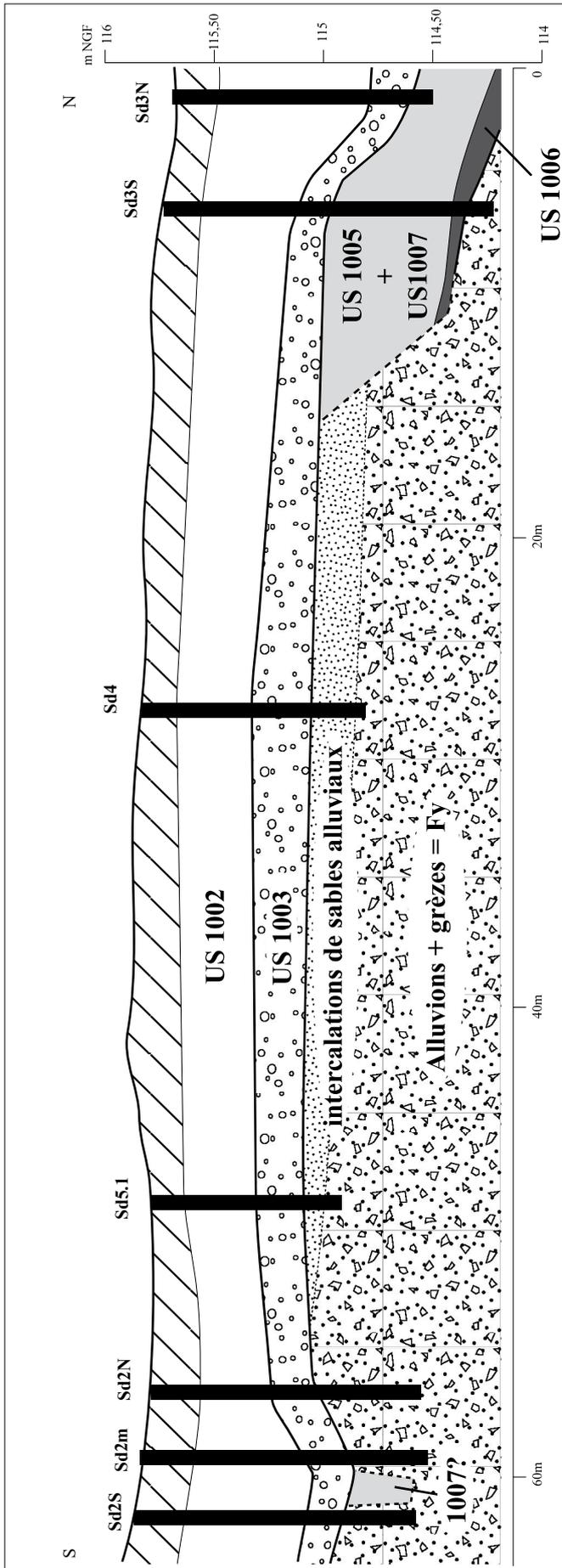
L'US 1003 succède à ce premier ensemble et se distingue par la présence de galets alluviaux en quantité importante. C'est le premier niveau à occuper une partie significative de ce secteur de la plaine de l'Indre. L'absence d'éléments de datation ne permet pas de préciser son rattachement à une variation de la dynamique lors d'une période proche du Boréal ou de lui attribuer une chronologie de mise en place différente, par exemple plus proche des événements de l'époque historique, documentée dans la partie supérieure de la séquence. Les creusements archéologiques du sondage 5 (cf. *infra* : **Fig. 3.1 12**) affectent tous les trois la partie supérieure

de l'US 1003, ce qui permet de lui attribuer un âge antérieur à la fin du premier âge du Fer.

L'US 1002 constitue la partie supérieure de toutes les coupes et logs relevés. Constitué de sables limoneux, cet ensemble est affecté par des traits pédologiques, notamment liés à l'hydromorphie récente des dépôts à l'origine de la distinction de 3 faciès (grumeleux à proximité de la surface, réductique – grise - dans la zone la plus saturée en eau, oxydoréduction en profondeur – auréoles orangées - quand la série est suffisamment épaisse ; cf. *infra* ; **Annexe 5**). A l'instar de l'US 1003, l'US 1002 se rencontre sur une grande étendue, puisqu'elle a été reconnue sur toute l'emprise du diagnostic en 2018 ainsi que dans tous les carottages de 2021. Sur les transects de 2021 comme pour celui construit cette année, l'US 1002 recouvre

indifféremment l'assise formée par les alluvions Fy que le comblement des chenaux datés du Boréal (US 1006, 1007 et 1005 ; (**Fig. 3.1 2** et **3.1 7**). Les dépôts se chargent en éléments grossiers aux points où les constituants de Fy sont le plus proches de la surface actuelle (**Fig. 3.1 6** : sd 4 et 5.1). L'épaisseur des dépôts est plus importante à l'aplomb des paléochenaux, ce qui suggère la persistance du tracé des chenaux dans la topographie, formant des zones d'accumulation préférentielle comblées par les dépôts ultérieurs. Dans les carottages de 2021, des niveaux plus organiques ont été repérés et les restes végétaux récupérés dans les prélèvements ont abouti à des datations radiocarbone. Les âges obtenus à la base des dépôts sont plus récents que les occupations gauloises mises en évidence à proximité, lors du diagnostic de 2018 (**Fig. 3.1 2**). La détection d'indices du premier âge du Fer dans les sondages 4 et 5 documente un peu plus cet état de fait. La décorrélation entre l'âge des principales occupations découvertes dans le secteur en 2018 (période gauloise *s.l.*) et l'amorce de l'enregistrement sédimentaire avec un décalage de l'ordre d'un millénaire ne peut être précisément argumenté.

Une hypothèse prenant en compte les diverses observations menées dans le secteur étudié peut être proposée. Le réseau de (modestes) paléochenaux visibles dans la dépression centrale de la plaine alluviale se serait mis en place à une période indéterminée après le Boréal (**Fig. 3.1 3**). Les incisions à l'origine de ces chenaux impliquent un regain dans l'hydrodynamisme du milieu, avec des écoulements plus compétents et plus invasifs dans la basse vallée de l'Indre. L'érosion aurait alors provoqué une ablation sédimentaire à l'origine de la création de la dépression topographique au sein de laquelle se concentrent les principaux chenaux visibles sur le Lidar (rhexistase). A la suite de cette phase d'incision des chenaux, des reprises sédimentaires auraient dans un premier temps affecté les dépôts préexistants (antérieurs et contemporains de la période gauloise), entraînant leur disparition dans la zone proximale de la plaine de l'Indre, perturbant ainsi les potentiels indices archéologiques situés dans la zone (secteurs prospectés en 2021 et 2022). La stabilisation de la dynamique sédimentaire aurait par la suite abouti au comblement des chenaux du lit mineur et à l'amorce de la sédimentation dans le secteur proximal du lit majeur, avec une accréation régulière de la séquence. Sur la base des datations obtenues à la base des alluvions dans les carottages de 2021, le phénomène pourrait débuter à partir de 1539 ± 15 cal BP (**Fig. 3.1 1** et **3.1 2**). Les zones situées dans le domaine distal (notamment la zone du diagnostic de 2018), à l'abri des crues les plus fréquentes, le taux de sédimentation réduit serait à l'origine d'une condensation des dépôts, sans que l'érosion ne joue non plus un rôle significatif. Un tel équilibre dans la balance sédimentation/érosion a alors



Sd 2 : Alluvions Fy associant galets alluviaux et grès calcaires



Fig. 3.1 7 Transect synthétique, géométrie des dépôts dans les sondages 2 à 5

abouti à un enfouissement des indices d'occupations gauloises sous une tranche sédimentaire peu développée mais également rarement soumise à l'érosion des sols. Ainsi, la gradation des phénomènes en fonction de l'éloignement des secteurs considérés par rapport à la zone de formation des chenaux néoformés rend compte des différentes situations observées. Dans le secteur du lit mineur, l'érosion prévaut fortement lors de l'incision du substrat, l'enregistrement sédimentaire n'a lieu que dans les comblements des chenaux peu profonds ; dans le secteur proximal de la plaine alluviale, une phase érosive entraîne initialement la disparition des dépôts préexistants (peut-être à l'origine des reprises alluviales sommet Fy et cause de la formation de l'US1003 sur la parcelle étudiée en 2022) puis la stabilisation des régimes hydrodynamiques permet la formation d'une nouvelle séquence de dépôts à partir de la fin de l'Antiquité (mise en place de l'US1002) ; en contexte distal, au plus loin du lit mineur, les dépôts antérieurs sont globalement épargnés par l'érosion et recouverts par des apports réduits ou peu fréquents (diagnostic 2018).

- *Analyses sédimentologiques*

L'étude géoarchéologique présentée dans ce chapitre fait intervenir différentes analyses. La susceptibilité magnétique des sédiments a été testée sur le terrain, puis les prélèvements ont été traités selon les méthodes de la perte au feu (PAF), de la granulométrie laser, et de la spectrométrie de fluorescence en laboratoire. Les échantillons étudiés provenaient d'une coupe stratigraphique dans le sondage 3 (24 échantillons), du tumulus (3 échantillons), du sondage 6 (1 échantillon) et du fait archéologique F3 (1 échantillon). L'ensemble des analyses, des protocoles appliqués ainsi que les résultats détaillés sont présentés dans l'**Annexe 5**.

Les données issues de la perte au feu (PAF) ont permis de distinguer cinq phases environnementales successives, oscillant entre des milieux peu compétents vers des milieux plus compétents au regard de la sédimentation de la Matière Organique (MO). L'étude granulométrique met en évidence trois phases environnementales successives, avec dans un premier temps des échantillons grossiers et relativement homogènes entre eux, puis une phase bien individualisée avec une forte proportion d'argiles et enfin une phase assez instable montrant des variations de textures. Les mesures de susceptibilité magnétique confirment que les sédiments sont composés principalement de minéraux ferro-magnésiens, au comportement paramagnétique. Bien qu'aucune tendance nette n'ait pu être corrélée aux variations stratigraphiques, la chute des valeurs à la base de la stratigraphie plaide pour un lessivage par la nappe phréatique. Enfin, l'interprétation des données XRF établit un parallèle entre la teneur

en certains éléments (Fe, Al, K) avec les limites stratigraphiques (**Fig. 3.1 8**). La combinaison des phases issues de la PAF et des analyses granulométriques permet d'affiner le découpage de la séquence stratigraphique et aboutit à la distinction de 6 phases environnementales (**Fig. 3.1 9**).

La phase 1 correspond aux alluvions Fy à la base de la séquence et formant l'assise des dépôts holocènes. Fy présente une faible teneur en MO et de forts taux de CO_2 et de CaCO_3 du fait de la présence des grèzes calcaires. Ces sédiments sont très grossiers : 43% de l'échantillon est supérieur à 2mm et plus de 90% des éléments inférieurs à 2mm appartiennent à la classe des sables. Des dépôts aussi grossiers se mettent en place dans un contexte périglaciaire du Pléistocène durant lequel les dynamiques environnementales témoignent de milieux à forte énergie. Le diagramme de Hjulström obtenu sur l'échantillon XXIV indique une vitesse d'écoulement de l'ordre de 35cm/s, nécessaire pour tracter ces sédiments. Le hiatus sédimentaire et chronologique qui sépare la phase 1 (Pléistocène) de la phase 2 (début de l'Holocène) se traduit nettement au niveau des textures et de la PAF.

La phase 2 correspond à l'US 1006 (échantillon XXIII) située à la base du comblement des paléochenaux datés du Boréal. Les sédiments ont des valeurs de CO_2 , de CaCO_3 et d'humidité résiduelle comprises dans la tendance générale du reste de la stratigraphie alors qu'au contraire, les taux de MO sont de loin les plus hauts du graphique. En effet, il s'agit d'une US particulièrement riche en macro-restes végétaux. Les sédiments sont assez fins et présentent plus de 10% d'argiles. La phase 2 correspond ainsi à un milieu calme, avec des valeurs indicatives fournies par le diagramme de Hjulström de sédimentation en deçà de 9cm/s, qui permet à la MO et aux argiles de sédimenter. La transition avec la phase suivante se traduit par des apports sensiblement plus sableux. Les taux d'argiles sont divisés par 10 entre l'échantillon XXIII et XXII. Les taux de MO et d'humidité résiduelle chutent également fortement.

La phase 3 correspond aux US 1007 (échantillons XXI et XXII) et à la base de l'US 1005 (faciès plus foncé, échantillon XX). Les valeurs de CO_2 , de CaCO_3 et de MO sont comprises dans la tendance générale, les taux d'humidité résiduelles sont décroissants vers la base de la stratigraphie. Les sédiments de cette phase ont une faible proportion d'éléments fins dans un contexte hydrodynamique assez fort. La légère augmentation des argiles dans la progression de la phase 3 vient se confirmer nettement dans la phase 4, passant de moins de 10% à plus de 35% d'argiles.

La phase 4 correspond à l'US 1005 (échantillons XIX à XVI). Les sédiments ont les valeurs les plus élevées d'humidité résiduelle, expliquée par la nature argileuse prédominante ($\geq 38\%$

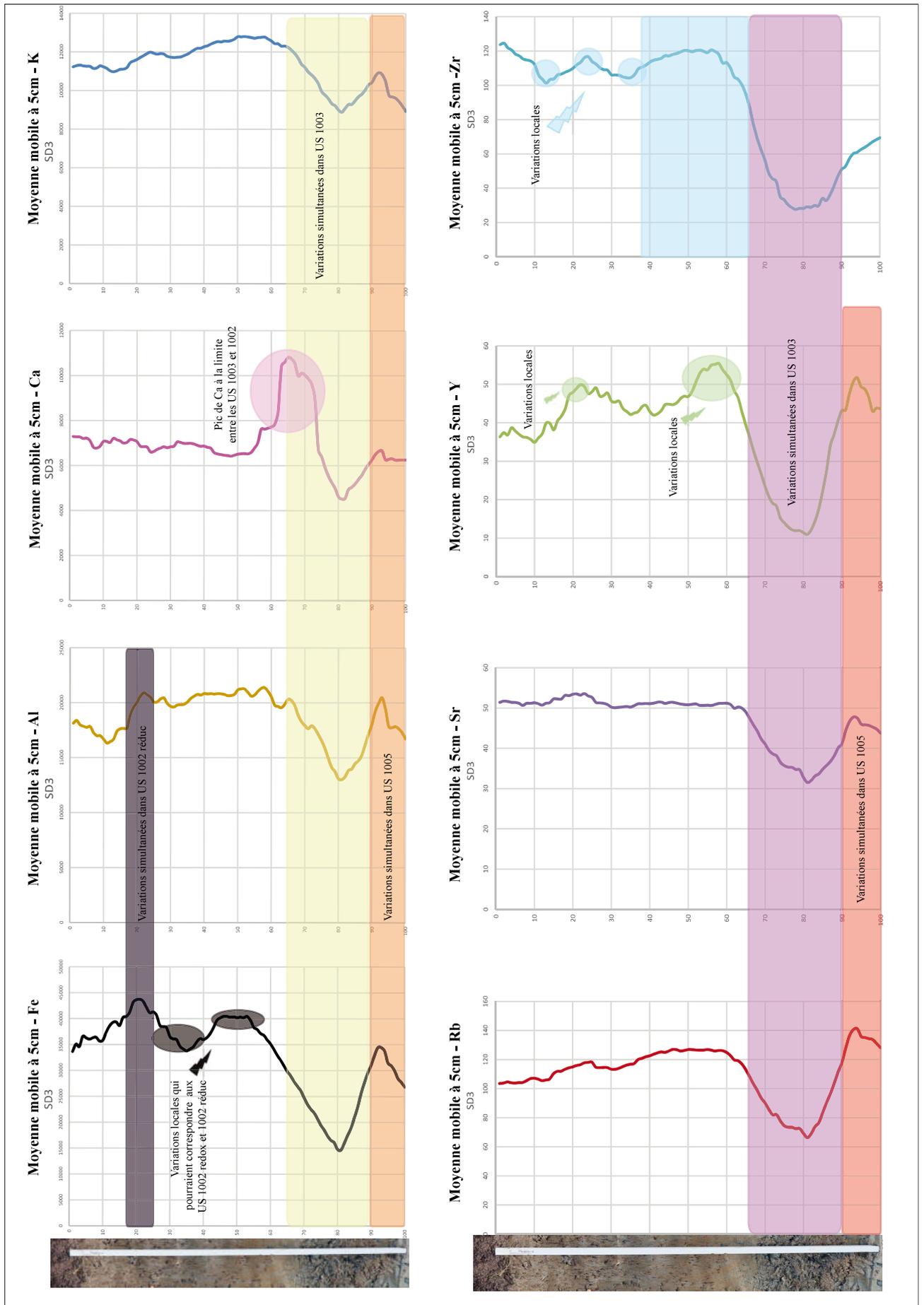


Fig. 3.1 8 Interprétation par phases d'après les analyses XRF pour les éléments majeurs et traces du Sd3 d'après L. Mairaville annexe 5

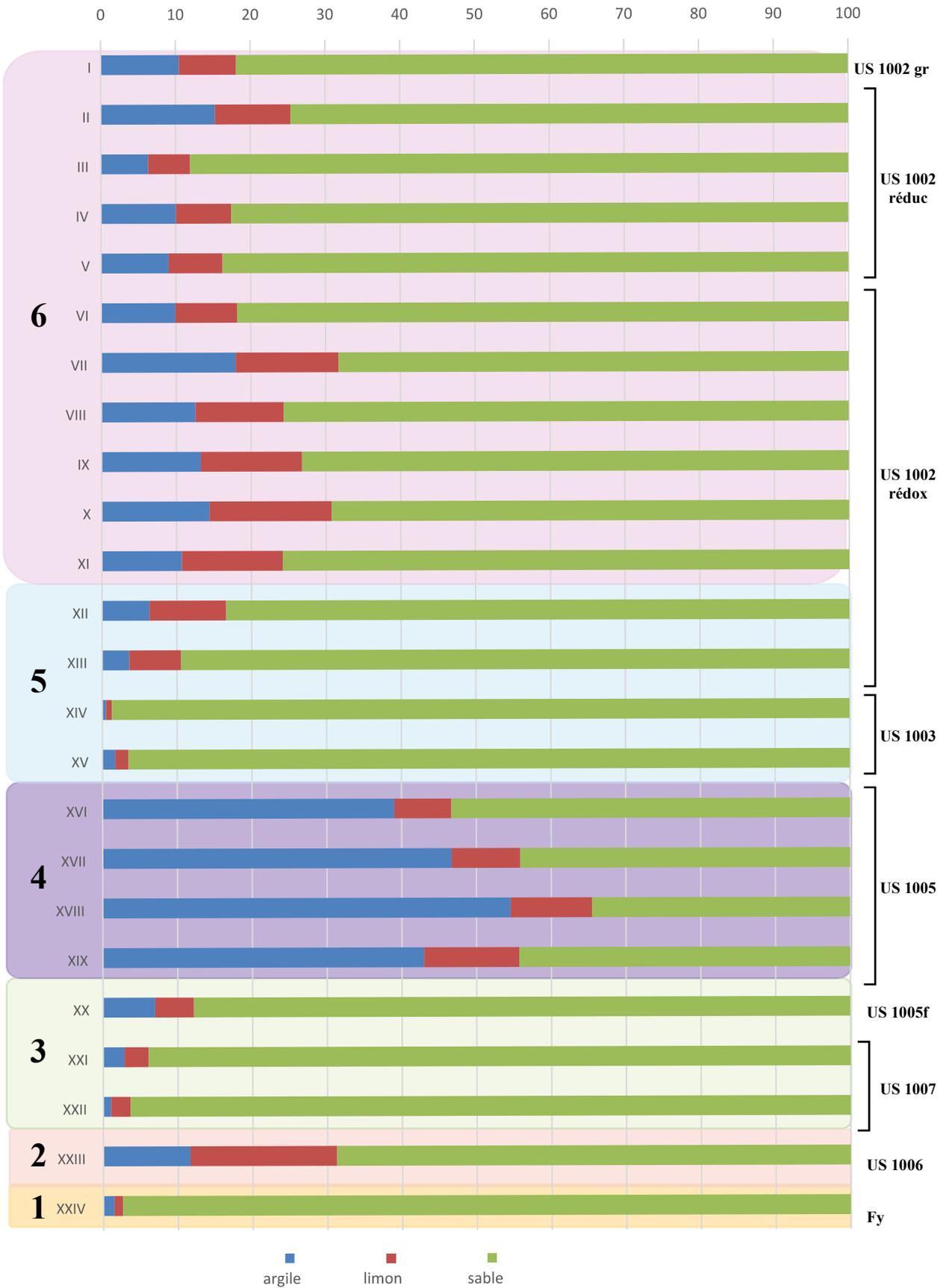


Fig. 3.1 9 Synthèse des interprétations par phases (PAF et Granulométrie) pour le Sd3 d'après L. Mairaville annexe 5

d'argiles) de ces dépôts. Les écoulements sont donc particulièrement calmes et peu compétents (palier de sédimentation en deçà de 9cm/s).

Les phases 2, 3 et 4 se localisent exclusivement dans les comblements de chenaux du Boréal bien individualisés. Elles appartiennent au même contexte de mise en place : la tendance évolutive d'un comblement de plus en plus argileux reste globalement le même entre la base de la phase 3 et le sommet de la phase 4, qui marque la fin de fonctionnement du chenal.

La phase 5 correspond à l'US 1003 (échantillons XIV et XV) et à la base de l'US 1002 redox (échantillons XII et XIII) ; elle est perçue grâce aux analyses XRF qui affichent une baisse des valeurs des courbes des éléments majeurs et traces (chute des carbonates, des argiles et des oxydes de fer). Le phénomène s'explique probablement par la macro-porosité de l'US 1003, combinée ou non au lessivage des constituants par le battement de la nappe phréatique. La forte et soudaine baisse de la proportion des argiles dans cette phase (certains échantillons presque constitués à 100% de sables) souligne un contexte hydrodynamique fort et variable, peu compatible avec le dépôt de MO. Cette phase a été reconnue sur l'ensemble de la plaine alluviale. Le passage à la phase suivante est progressif tant du point de vue de la PAF que des valeurs de granularité.

La phase 6 correspond à l'US 1002 (échantillons XI à I). Les analyses XRF ont montré que l'US 1002 redox est composée de davantage d'oxydes de fer ferreux, d'argiles et de feldspaths/micas dégradés en argiles que l'US 1002 redox (oxydes de fer ferrique). Les taux de MO sont constants et témoignent d'un milieu peu compétent et relativement stable même si quelques incursions sableuses témoignent d'un hydrodynamisme qui fluctue (palier de transport pour la fraction $\leq 2\text{mm}$ sont entre 35 et 7cm/s). Ce type d'environnement qui se rattache certainement à ce que l'on observe aujourd'hui avec des crues saisonnières et temporaires.

Les phases 5 et 6 se localisent au-dessus des paléochenaux dans cette séquence et incarnent la dynamique sédimentaire de la plaine alluviale après le comblement total des paléochenaux de l'Indre. L'évolution des dépôts témoigne tout d'abord d'un contexte hydrodynamique élevé (US 1003) qui s'atténue avec le temps (US 1002) puisque la tendance générale de ces deux phases est à l'augmentation progressive des taux d'argiles.

La séquence holocène du sondage 3 se décline donc en deux étapes majeures si l'on exclut les alluvions Fy constituant le substrat : l'incision, et le comblement des paléochenaux au Boréal d'une part, le colmatage de la plaine alluviale dans l'Holocène récent d'autre part. Dans les deux cas, l'évolution de la dynamique sédimentaire est comparable. Le schéma débute par des

écoulements très compétents à l'origine de surfaces érosives (incisions du Boréal – US 1003 du deuxième Holocène) puis l'énergie du milieu décroît. C'est alors qu'une sédimentation à dominante de plus en plus argileuse se met en place (US 1007 puis 1005 – US 1002).

- *Le paléoenvironnement du Boréal à travers l'étude des restes organiques du paléochenal (F. Di Napoli, S. Barbier-Pain, S. Coubray, B. Pradat et J. Rollin)*

Les prélèvements réalisés dans le comblement organique du paléochenal en correspondance de l'US 1006 ont été confiés à des spécialistes (entomologiste, carpologue, anthracologue) dans le cadre du post-fouille de cette prospection. Cette US correspondant à l'échantillon XXIII (cf. *supra* ; **Annexe 5**) est représentée par des sédiments très fins composés à plus de 40% d'argile. Elle se rattache à une phase d'apports sédimentaires dans un milieu calme où les argiles ont pu sédimenter par décantation à l'amorce du comblement des paléochenaux durant le Boréal. Les résultats, présentés en annexe, viennent compléter les données palynologiques du diagnostic (BARBIER-PAIN in KILDEA *et al.* 2019 b : 129-132) et nous aident à esquisser le paléoenvironnement du Boréal.

Les différentes contributions nous renvoient l'image d'un paysage non anthropisé, dominé par les herbacées propres aux milieux humides, telles les laïches (*Carex* sp.), le potamot (*Potamogeton* sp.) et le rubanier rameux (*Sparganium ramosum*). Ce dernier, semi-aquatique, pousse dans des eaux stagnantes ou faiblement courantes. Le sureau noir (*Sambucus nigra*), espèce arbustive pouvant croître en bord de rivière, en lisières forestières, dans des haies ou encore sur des décombres est attesté à l'état de graine et pollen (**Annexe 6**). La carotte sauvage (*Daucus carotta*) plante ubiquiste qui se développe en divers endroits tels les friches, les prairies, les bords de chemins, est également attestée.

Les données palynologiques et anthracologiques permettent de reconstituer le milieu forestier des coteaux environnants. Dense et fermé, il était majoritairement constitué d'essences mésothermophiles dont le chêne (*Quercus*) et le noisetier (*Corylus*) (**Annexe 7** ; BARBIER-PAIN in KILDEA *et al.* 2019 b : 131). La présence de cette dernière essence est par ailleurs renforcée par les nombreuses noisettes retrouvées dans le comblement organique de l'US 1006 du paléochenal (**Fig. 3.1 10**).

Bien que très fragmentaires, les quelques vestiges de sclérites d'insectes vont également dans le sens d'un milieu forestier et humide fréquenté par l'*Ampedus* sp. (cf : *cinnabarinus*), l'*Dryops similaris* et l'*Elaphrus cupreus*, espèces phytophages, aquatiques et hygrophyles (**Fig. 3.1 11** ; **Annexe 8**).



Fig. 3.1 10 : Restes de noisettes et éléments organiques dans l'US 1006 du paléochenal

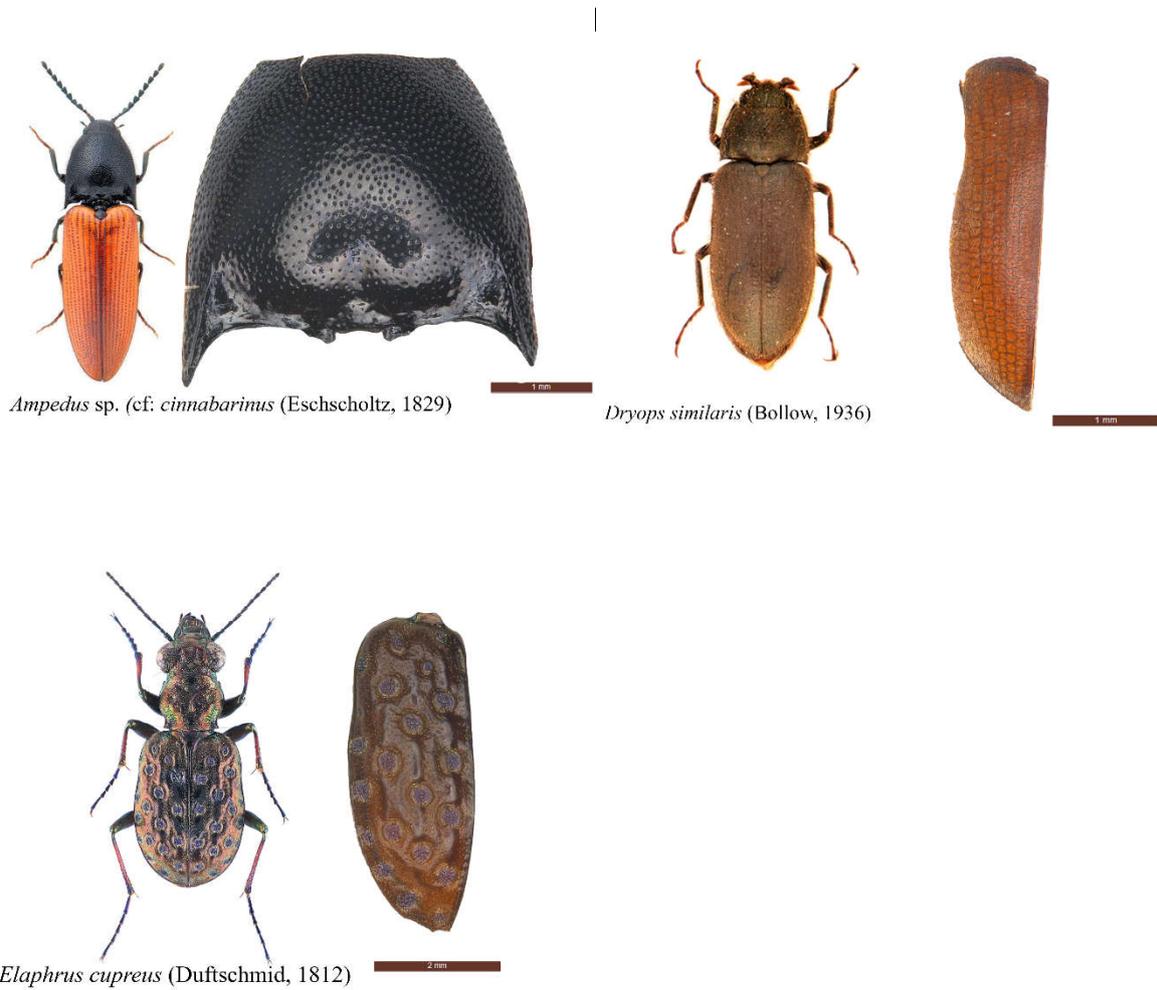
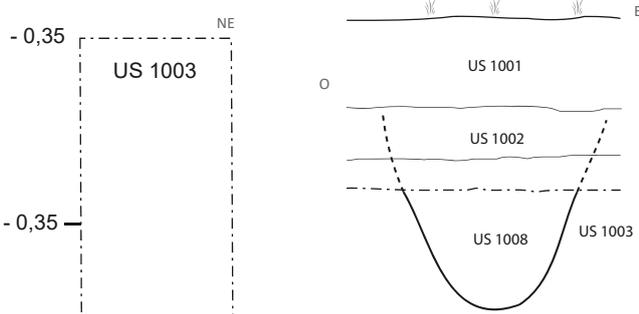


Fig. 3.1 11 : Vestiges de sclérites d'insectes issu de l'US 1006 du paléochenal.

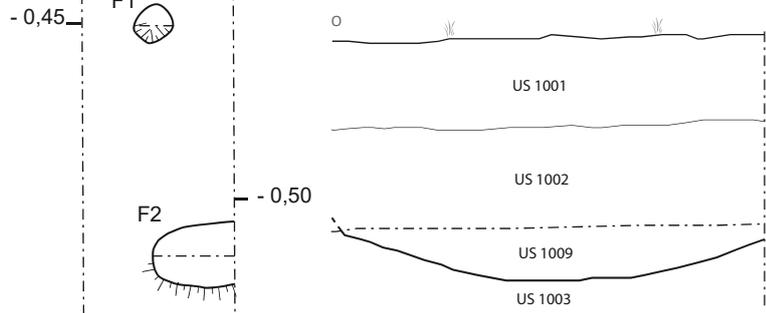
Croquis sondage 5

Fait 1



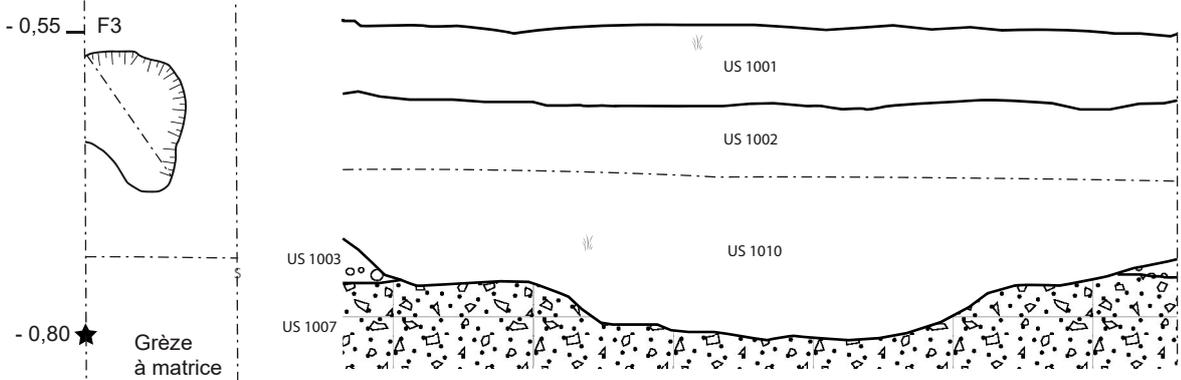
- US 1001 : Terre végétale - Horizon organique
- US 1002 : Argile brun gris à traces d'oxydation - Horizon oxydo-réduit
- US 1003 : Cailloutis dans matrice orange - Diamicton ?
- US 1008 : argile grise à oxydations oranges

Fait 2



- US 1001 : Terre végétale - Horizon organique
- US 1002 : Argile brun gris à traces d'oxydation - Horizon oxydo-réduit
- US 1003 : Cailloutis dans matrice orange - Diamicton ?
- US 1009 : Argile grise à oxydations et quelques cailloutis

Fait 3



- US 1001 : Terre végétale - Horizon organique
- US 1002 : Argile grise oxydée - Horizon oxydo-réduit
- US 1003 : Cailloutis dans matrice orange - Diamicton ?
- US 1007 : Grèzes et alluvions
- US 1010 : US anthropique, sableuse, avec fragments de céramique

★ Log



Fragments de céramique protohistoriques issus de F3, US 1003



Dessin et DAO: F. Di Napoli et L. Mairaville

Fig. 3.1 12 Croquis et coupes des structures archéologiques repérées dans le sondage 5

- *Les structures protohistoriques repérées dans le sondage 5*

Le sondage 5 réalisé en bout de parcelle livre les seules structures anthropiques de cette séquence de sondages (**Fig. 3.1 12**) Elles percent la matrice à forte dominante sableuse représentée par l'US 1003 et leur datation constitue donc un *terminus ante quem* pour la mise en place de cette dernière. Le fait 1 est un probable trou de poteau de 50 cm de diamètre comblé avec une argile grise à oxydations orangées et quelques cailloutis. La fosse F2, très arasée,

présente le même type de comblement : aucun mobilier n'est issu de ces deux faits. L'US 1010 de la fosse irrégulière F3 livre en revanche trois fragments du même vase modelé avec une argile siliceuse riche de petits éléments noirs pouvant correspondre à des inclusions d'origine végétale (**Fig. 3.1 12**) Bien que l'absence de toute forme et décor ne permette pas de proposer une datation précise, techniquement (argile et façonnage) ces fragments se rapprochent des céramiques attestées sur l'occupation de la période 1 documentée sur le diagnostic de 2018, datée de la Tène ancienne (KILDEA *et al.* 2019 b : 106-109).

3.1.3 Synthèse des données géomorphologiques et sédimentologiques

L'histoire des dépôts holocènes débute avec les chenaux dont le comblement est daté du Boréal, circa 9700-10200 cal BP, à la suite de l'incision des alluvions Fy attribuées au Pléistocène et qui incarnent la phase 1. Ces chenaux s'avèrent conservés sur la moitié méridionale de la plaine de l'Indre, puisqu'ils ont été également observés en 2018 et 2022. L'évolution des textures du comblement de celui recoupé par dans le Sd3 de 2022 témoigne de la décroissance progressive de l'énergie du milieu et de la compétence des écoulements (**Fig. 3.1 9**). Les dépôts à la base des comblements expriment des écoulements relativement compétents (terres sableuses de l'US 1006), rapidement remplacés dans le courant de la phase 2 par des faciès traduisant des milieux dominés par un hydrodynamisme sensiblement plus faible que sont les terres organiques de l'US 1006 (pvt XXIII), puis les US 1007 et US 1005. Les changements de textures entre la base de l'US 1007 et la partie supérieure de l'US 1005 illustrent l'amortissement de la compétence des écoulements, les sables de la phase 3 (pvts XXII à XX : <5% d'argile) étant remplacés par des dépôts sensiblement plus argileux lors de la phase 4 (pvts XIX à XVI : ~ 40% à 55% d'argile).

La fin du fonctionnement des paléochenaux marque une étape majeure dans la dynamique de la plaine alluviale. L'absence d'éléments de datation ne permet pas d'en préciser la chronologie et, tout particulièrement de replacer dans le temps la mise en place des dépôts sensiblement plus grossiers de l'US 1003, avec laquelle s'amorce la phase 5. Seul un *terminus ante quem* est

fourni par la présence de structures attribuées à l'époque gauloise et dont le creusement affecte le sommet de l'US 1003 dans le sondage Sd5 (cf. *infra*). Le hiatus chronologique qui sépare la phase 4 de la phase 5 reste tout aussi méconnu. La mise en relation entre la formation de l'US 1003 et une reprise de l'activité érosive de l'Indre, voire le rattachement de ce faciès sédimentaire à une expansion d'un contexte de lit mineur (**Annexe 5**), implique une importante discontinuité dans les enregistrements sédimentaires aptes à fournir des jalons temporels précis. Seule l'association de l'US1003 (pvts XV et XIV) à la même phase sédimentaire (phase 5) que les dépôts à la base de l'US 1002 (pvts XIII et XII) suggère que sa mise en place a eu lieu au cours de la seconde moitié de l'Holocène.

La dernière partie de l'histoire de la plaine alluviale est la mieux documentée. Elle s'incarne dans des sédiments bien dilatés sur le transect de 2022 et analysés dans 13 prélèvements. Ces dépôts ont également bénéficié de plusieurs datations C14 à leur base, à l'occasion des carottages de 2021, et ils ont été caractérisés sur tout la surface du diagnostic de 2018. L'ensemble de ces dépôts correspond à l'essentiel de l'US 1002 (pvts XIII à I) et se rapporte à la phase 6. La distinction de trois sous-faciès au sein de cette US s'explique principalement par l'acquisition de traits hydromorphes et pédologiques, postérieurs à leur mise en place (**Annexe 5**). Chacun de ces horizons se distingue par des teneurs différents en Fe ou en matière organique par exemple mais leurs profils granulométriques restent comparables. Ils décrivent une sédimentation de lit majeur, avec une accrétion régulière des dépôts, alimentés en constituants plus ou moins fins, au gré de la fréquence et de l'intensité des crues de l'Indre au cours des deux derniers millénaires. Les datations radiocarbone de la base de l'US 1002 se situent aux environs de ~ 1500 à 1200 cal BP sur les carottages de 2021, notamment dans le sondage ZL54.Sd10 situé à proximité du transect de 2022. A l'échelle de toute la surface prospectée depuis 2018, cette US apparaît toutefois comme étant diachronique, puisqu'elle constitue la partie supérieure du substrat dans lequel sont ancrées les structures Hallstatt mises au jour au cours du diagnostic. La présence d'une surface érosive morpho-structurale est donc suspectée mais elle ne peut être caractérisée plus en détail, en l'absence de données chronologiques complémentaires. L'hypothèse d'une avulsion (temporaire ?) de l'Indre par le biais de la formation d'un réseau de chenaux dans la partie centrale de sa plaine apparaît plausible et documentée par les relevés Lidar de la zone (cf. *supra* « Géométrie des dépôts »). La mise en place des constituants de l'US 1002 s'effectue dans un contexte distal. Le contexte sédimentaire apparaît comparable à celui qui prévaut actuellement sur ce secteur de la plaine.

3.2 Axe 2 : Etude des anomalies circulaires identifiées en fond de vallée

3.2.1 Sondage dans la butte

L'axe 2 qui se rattache à la caractérisation des structures circulaires visibles sur le LiDar dans l'actuelle plaine alluviale de l'Indre avait été abordé en 2021 par une prospection géophysique et un sondage à la tarière qui n'avaient pas donné de résultats probant (DINAPOLI *et al.* 2021 b : 27-28). Afin de déterminer la géométrie et la nature des dépôts, naturelle ou anthropique, qui constituent ces structures et d'obtenir des échantillons en vue d'une datation, nous avons procédé au redressement de la coupe d'une butte, coupe générée par un fossé de drainage en limite de parcelle. Réalisée manuellement dans un premier temps, cette coupe a été complétée à sa base par un sondage mécanique afin de documenter au mieux la séquence sédimentaire complète de la butte.



Figure 3.2.2 : coupe sud de la butte

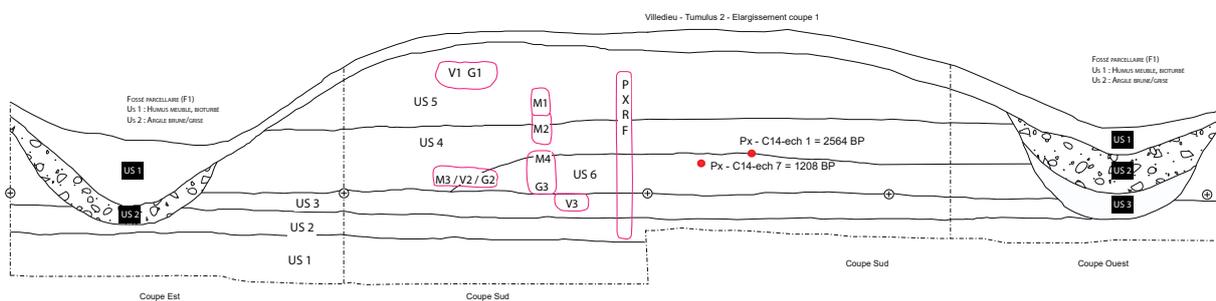
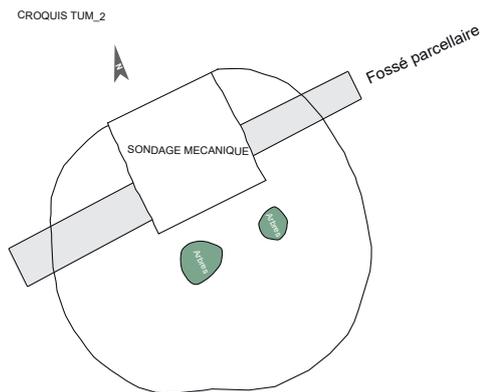
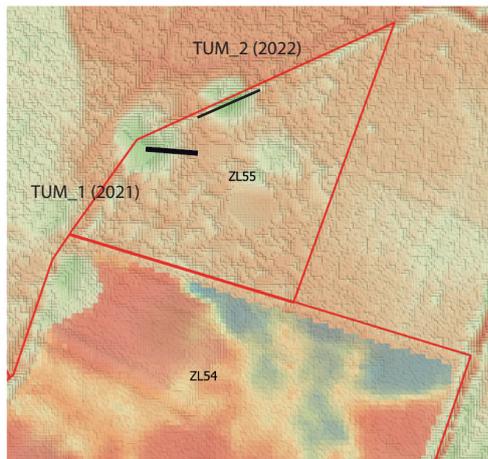
Le sondage a concerné une butte proche de celle qui a fait l'objet du sondage à la tarière en 2021 (**fig. 3.2.1**). Située à cheval sur deux parcelles (ZL0055 et ZA119) dont la limite est matérialisée par un fossé de drainage contemporain, la butte a été sondée dans le sens est-ouest

sans entamer le centre de la structure localisé dans une parcelle densément boisée (**fig. 3.2.1 et fig. 3.2.2**). De nombreux prélèvements ont été réalisés à différents niveaux de la coupe afin de les soumettre à des analyses de spectrométrie, granulométrie et micromorphologie (**annexe 5**). La coupe de la butte montre une succession d'US à l'aspect de plus en plus compact et argileux au fur et à mesure qu'on descend vers la base de la séquence (US 5, 4, 3 et 6). Cette première observation de terrain a été corroborée par l'analyse granulométrique des blocs prélevés qui montre une part croissante de la teneur argileuse des sédiments vers la base de la structure. Le bloc G3, correspondant à l'US 6, est le plus chargé en argile (**annexe 5**).

Ces niveaux argileux reposent sur un lit naturel de grève à support clastique d'origine alluviale (US 1 et 2) (**fig. 3.2.3**). Si aucun artefact n'a pas pu être mis au jour, de nombreux échantillons millimétriques de charbons de bois ont été prélevés au sein des US 4 et 6. Cette dernière, apparue tardivement, se distingue du niveau sus-jacent (US 4) par son aspect plus argileux et sa couleur plus foncée. Après analyse anthracologique seuls deux des échantillons prélevés se sont révélés de bons candidats pour une datation C14 : l'échantillon 1 (*quercus sp*), issu de l'interface entre l'US 4 et l'US 6, et l'échantillon 7 (*Rosaceae Prunoideae*), provenant de l'US 6 (**annexe 4 et fig. 3.1.1**). Après calibration, le premier livre une datation calée vers la fin du VII^e siècle avant J.-C., le deuxième une autre située aux alentours du VIII^e siècle après J.-C.



Figure 3.2.3 : vue zénithale du niveau de grèzes de l'US 1



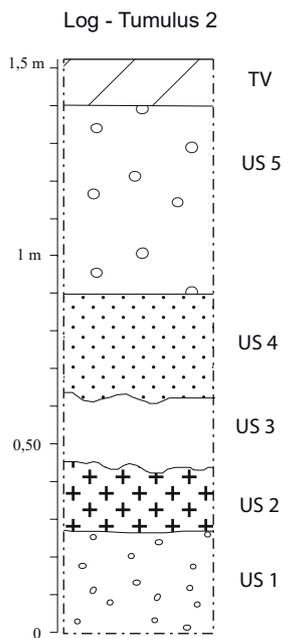
Vi2022_T2

Px -> Prélèvement de charbons de bois pour analyse C14

V1 / V2 / V3 = prélèvement en vrac

G1 / G2 / G3 = Prélèvement pour granulométrie

M1 / M2 / M3 = prélèvement pour micromorphologie



US 5 = sol cumulique (apport anthropique?) avec apports organiques. Niveaux argileux, granuleux, clastes + racines

US 4 = pas très différent de US 3. Flottation de niveaux plus ou moins riches en manganèse.

US 6 = non représentée sur les logs mais présente en coupe niveau très semblable à US3 mais moins compacte et plus foncée Couleur de gris à brun foncé. Présence de micro-charbons de bois, oxydes de manganèse et petits cailloutis de calcaire.

US 3 = niveau argileux de petits graviers et petits scistes brun clair à gris avec de nombreux points d'oxydo-réduction. Niveau primaire très compact et massif. Paléosol?

US 1 et 2 = grave dyamicton à support clastique (origine fluviatile) plaquettes calcaire, quartz (stock Pleistocène?). Matrice de sable grossier argileux de couleur hétérogène allant du gris à l'ocre. Signature alluviale primaire. Charge de fond chenal.

US ANTHROPIQUES

GEOL

Dessin et DAO: F. Di Napoli et L. Mairaville

Fig. 3.2.1 : Localisation, croquis et coupe de la butte T2 (dessin et DAO F. Di Napoli et L. Mairaville).

3.2.2 Essai d'interprétation

Malgré les actions entreprises pendant la campagne 2021 et 2022 pour caractériser ces anomalies circulaires (prospection géophysique, carottage, coupe et datation C14), aucune hypothèse ne vient s'imposer. L'absence d'artefacts et des datations C14 discordantes ne permettent de trancher ni sur l'origine, ni sur la nature de ces éléments parfaitement circulaires visibles dans le paysage actuel et sur la cartographie LiDar. L'hypothèse initiale de tertres funéraires n'est pas écartée mais d'autres interprétations sont considérées. Les sédiments très compacts et argileux évoquent des apports anthropiques ; l'absence de mobilier ne vient pas en contradiction avec l'hypothèse d'une structure tumulaire, son élévation se faisant en un temps limité en employant des matériaux locaux (alluvions) dans un secteur pauvre en vestiges résiduels. Les deux dates présentent un écart important, de l'ordre de 1400 ans. La date la plus ancienne (US 6), *circa* 2550 cal BP (*ca.* 600 cal BC), se place dans un intervalle chronologique proche de l'occupation la plus ancienne identifiée lors du diagnostic de 2018. La seconde date, réalisée sur un prélèvement provenant de la base de l'US6, au contact de l'US 4 sous-jacente, présente un écart de 1400 ans environ avec la première, avec une datation autour de 1200 cal BP, soit autour de 750 cal AD. Cette période renvoie à la fourchette chronologique des dépôts alluviaux documentés dans la plaine l'actuelle plaine de l'Indre grâce aux carottages réalisées en 2021 (*infra* 3.1.1). Ces résultats ne sont pas cohérents avec la séquence stratigraphique observée. Les échantillons datés étant des charbons de bois, il est possible que ces derniers aient subi des déplacements post-dépositionnels dus à des bioturbations. Une autre hypothèse est celle d'une stratigraphie inversée de la butte induite par le creusement du fossé de drainage. Enfin, l'hypothèse d'une accumulation sédimentaire naturelle n'a pas été écartée, aucun élément tangible ne venant s'y opposer.

Des réponses plus concluantes pourraient être apportées par l'étude micromorphologique des lames minces des blocs prélevés en coupe et actuellement en cours d'imprégnation dans le laboratoire PACEA à Bordeaux. D'autres anomalies circulaires sont documentées sur le territoire de la commune de Villedieu-sur-Indre : c'est le cas du site du Bois Moret qui sera affecté par le projet de déviation de la commune. Le diagnostic archéologique de l'emprise de cette déviation devrait être réalisé début 2023 par l'Inrap et deux membres de notre équipe scientifique (FK et PG). Dans le cas de mise en évidence de structures circulaires comparables à celles examinées dans le cadre de la prospection thématique, un nouvel éclairage pourrait être apporté quant à leur nature et leur chronologie.

3.3 Axe 3 : caractérisation du contexte archéologique

3.3.1 Prospection magnétique sur le Camp de César (F. Di Napoli et B ; Gouhier ; annexe 9)

Le Camp de César, déjà répertorié dans la carte archéologique (n° 36 241 0068), est un site fortifié situé sur le bord du plateau dominant la rive droite de l'Indre, à 400 m à l'ouest du bourg de Chambon. Encore marqué dans le paysage et bien visible sur la cartographie LiDar, un rempart trapézoïdal enferme un espace d'environ 2,3 ha barré à l'est par un fossé et défendu par les pentes du relief naturel sur les trois autres cotés. Une différence d'altitude comprise entre 37 et 36 mt marque le point le plus haut et le mieux conservé du rempart nord des rives de l'Indre, en contrebas. Parmi les différents indices d'occupations mis au jour par D. Audoux lors de ses prospections pédestres, les plus importants par nombre et nature restent ceux liés à la période de La Tène finale : de nombreux fragments d'amphores vinaires italiques, de la campanienne, des fragments de récipients locaux associés à des objets en métal sont cités dans la documentation du prospecteur, reprise par G. Coulon dans un article de 2021 (AUDOUX et COULON 2021 : 29-39) et intégrée au rapport de prospection de l'année dernière (DI NAPOLI *et al.* 2021 b : 64). Le recours à un *murus gallicus* dans la construction du rempart a été révélé par la découverte, à deux reprises, de fiches en fer généralement associées à ce type d'ouvrage (AUDOUX et COULON 2021 : 29-40 ; COULON 2022 : 37-38).

Afin de comprendre l'organisation du site, une prospection magnétique a été confiée cette année à B. Gouhier (A-GC) (**annexe 9**). Le budget disponible a permis de couvrir une surface d'environ un hectare dont l'emprise a été soigneusement choisie d'après la lecture de la cartographie LiDar (**fig. 3.3.1**).

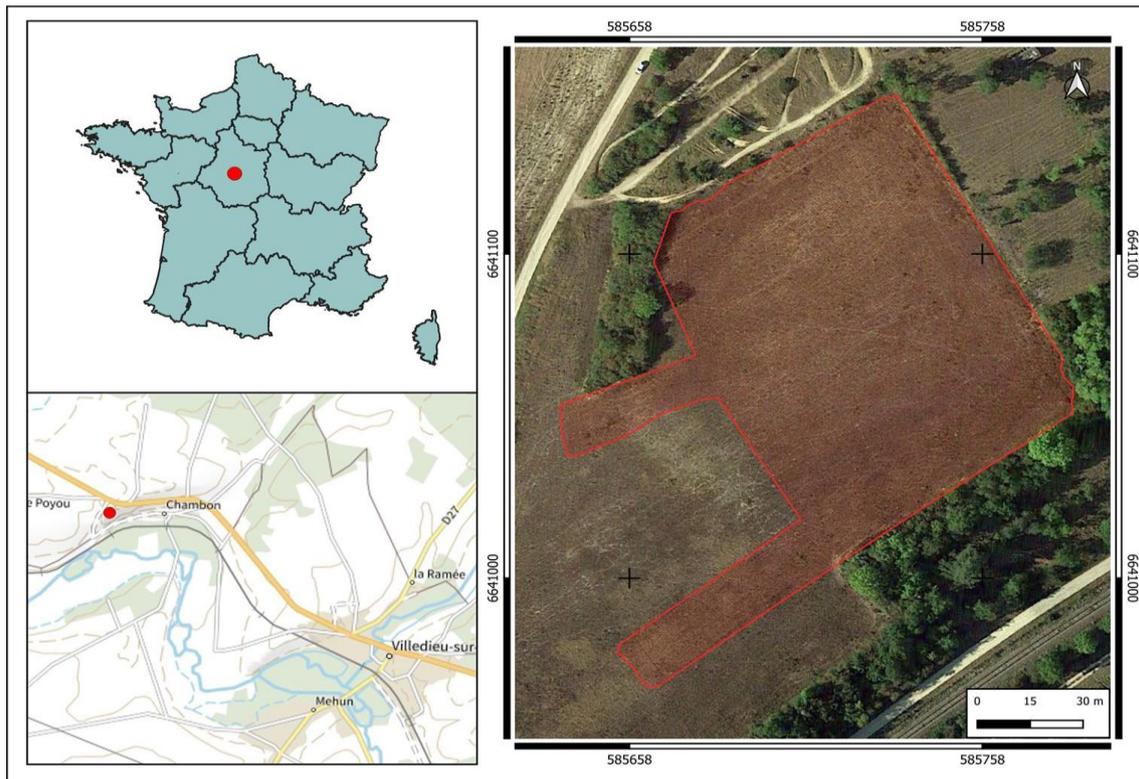


Figure 3.3.1 : localisation et étendue de la surface prospectée sur la parcelle ZM0072, à Villedieu-sur-Indre.

Cette opération a permis ainsi de compléter le plan du rempart esquissé par D. Audoux (AUDOUX et COULON 2021) et d’apporter des informations complémentaires concernant l’organisation interne de l’*oppidum*, notamment son système d’entrée et ses ensembles architecturaux (**fig. 3.3.2**). Bien que la prospection ne couvre pas la totalité de la surface du site, elle permet de corroborer le tracé des portions les mieux conservées du rempart, correspondant aux côtés nord et sud, l’arrondissement du côté ouest dont on devine l’amorcement ainsi que la présence d’un rétrécissement pouvant correspondre à un probable accès dans l’angle nord-ouest. À l’est des anomalies linéaires, séparées par une interruption, pourraient correspondre à une partition interne du camp, visible également sur la cartographie LiDar. Des fossés perpendiculaires au rempart sud, pouvant se poursuivre à l’ouest (anomalies 51, 52 et 92), pourraient compléter le système défensif ou en constituer des réfections. La découverte inédite mise au jour par cette prospection est la présence d’une ouverture sur le rempart sud caractérisée par une construction de type ‘porte rentrante’ déjà documentée sur de nombreux remparts gaulois et notamment bituriges, comme pour celui proche du Camp de César de Luant (BATARDY, BUCHSENSCHUTZ et DUMASY 2001 : 60). Dans l’espace entre les deux flancs de l’entrée, estimé entre 4 et 6 mt, aucune structure pouvant renvoyer à une

construction de type porche, n'a été révélée par la prospection magnétique. Au regard de la complexité des types de systèmes architecturaux connus pour la construction de porches gaulois, seule une fouille pourrait éclaircir la question (FICHTL 2021 : 105-113). L'emplacement de l'ouverture principale par le côté sud, sur la plateforme donnant directement sur la pente la plus abrupte de l'éperon, correspond sans doute à une stratégie défensive visant à contrôler la vallée et le cours de l'Indre situés en contrebas.

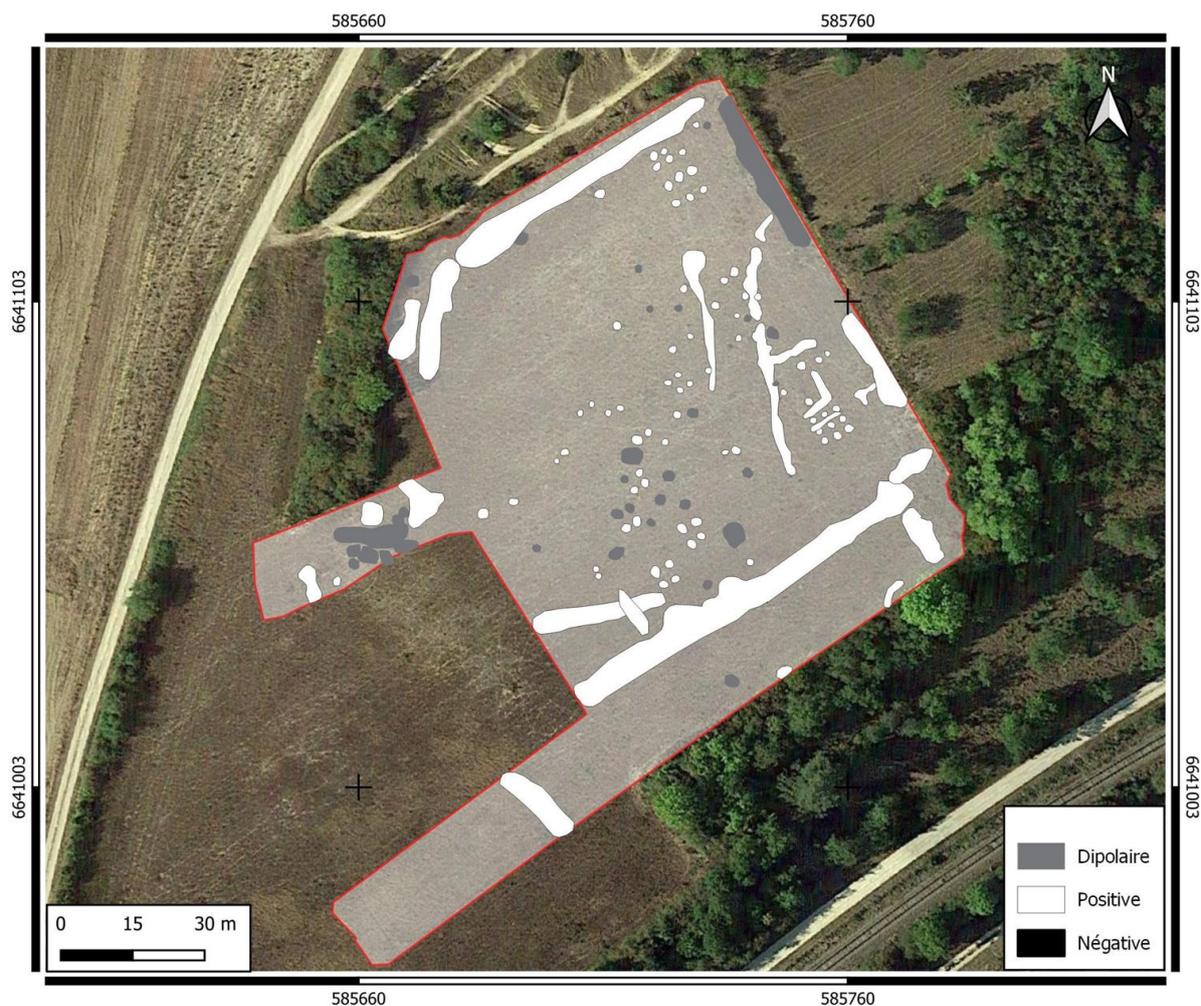


Figure 3.3.2 : carte des anomalies magnétiques relevées sur le Camp de César (B. Gouhier)

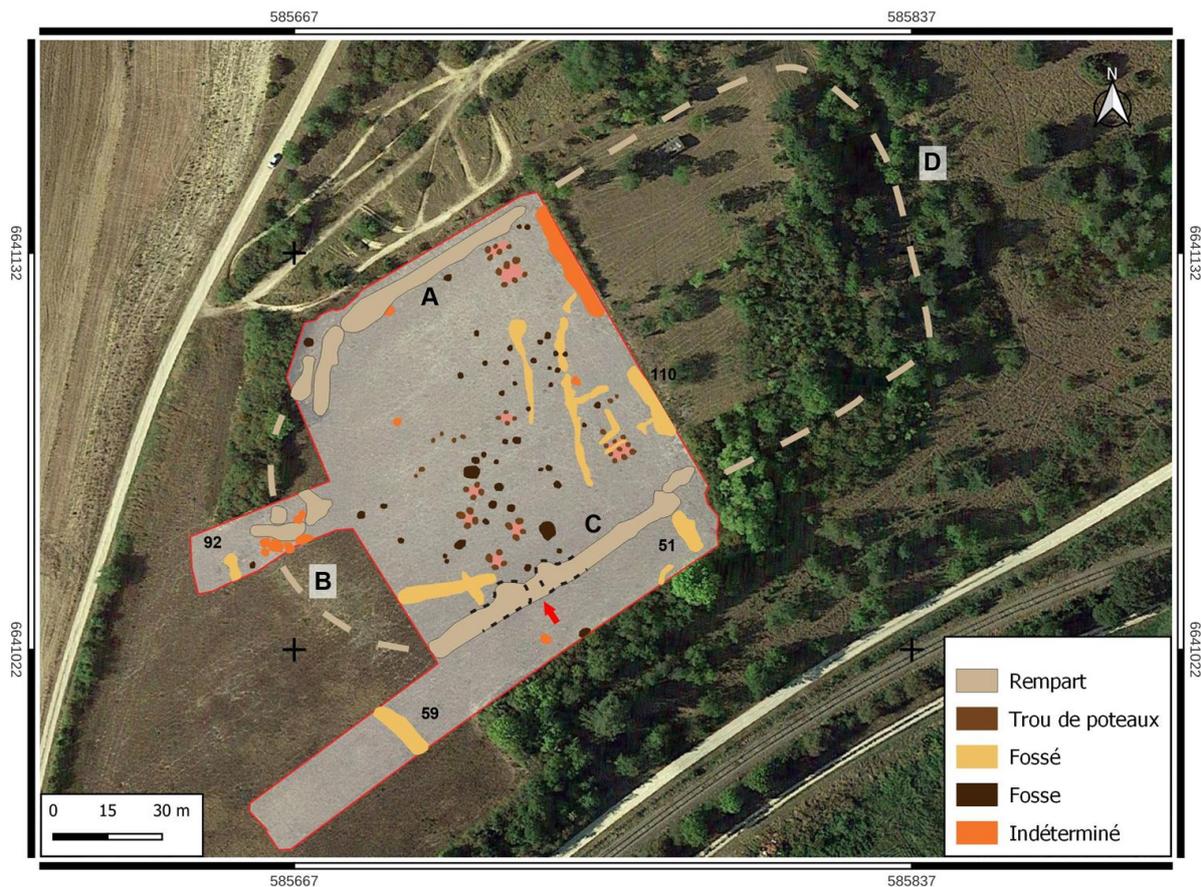
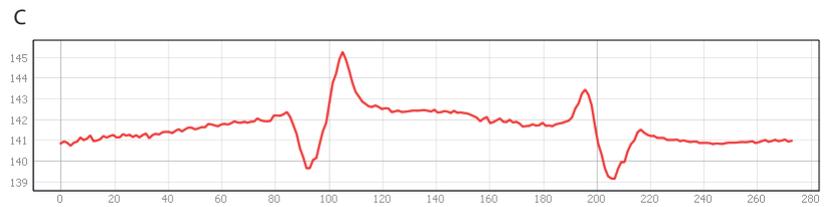
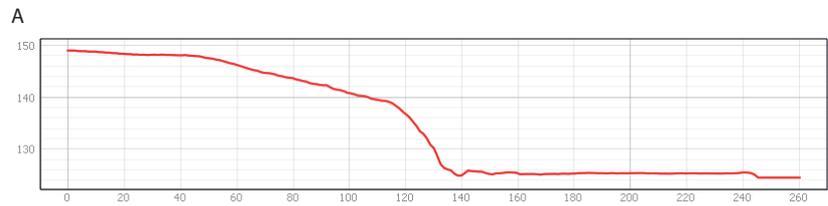
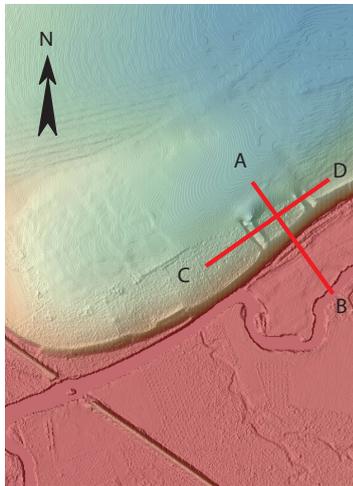
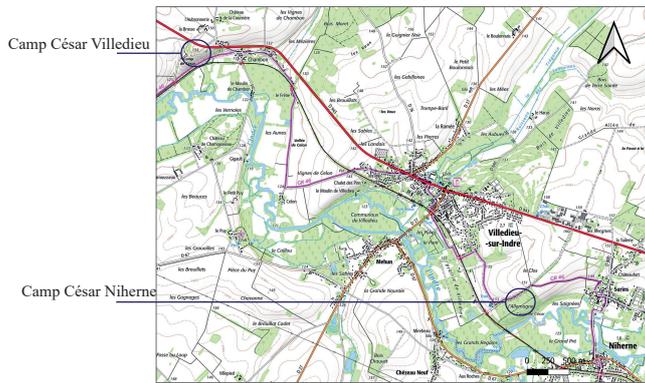


Figure 3.3.3 : interprétation des anomalies correspondant à la zone prospectée (B. Gouhier)

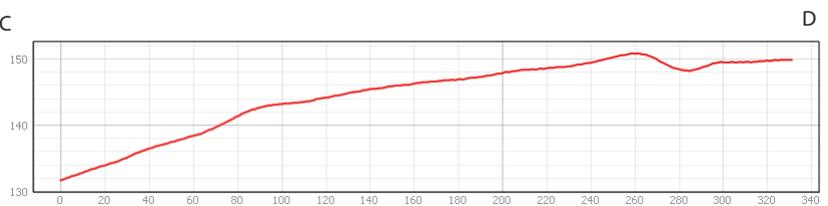
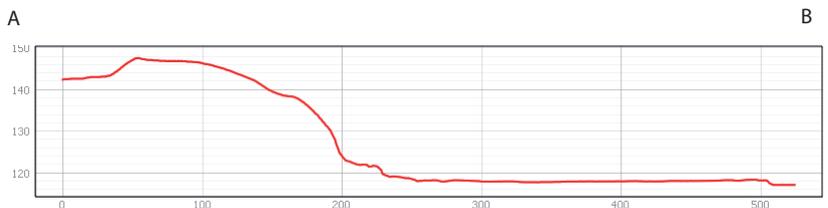
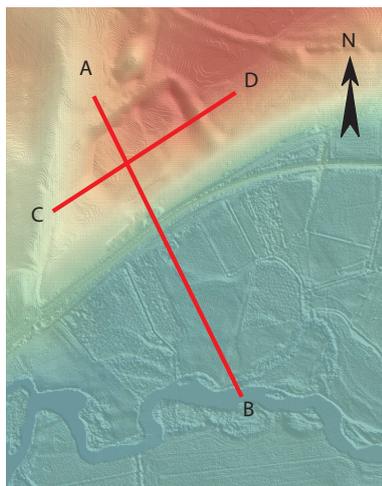
À l'intérieur du rempart, sur le plateau, une série d'anomalies magnétiques circulaires laisse apparaître des plans de bâtiments à 4, 6 ou 9 poteaux dont la surface varie de 10 à 30 m². Cette estimation pourrait correspondre à leur surface au sol ou juste au module des poteaux porteurs, comme dans le cas des bâtiments à parois déportées largement attestés à la fin de l'âge du Fer dans l'Ouest de la France et également en territoire biturige (BAGUENIER *et al.* 2011 ; MAGUER *et al.* 2018 : 303-329). Les bâtiments à neuf poteaux dont la surface au sol peut atteindre 30 m², sont plus rares et généralement documentés dans la région entre la période de transition et celle augustéenne comme le prouvent les ensembles documentés sur les sites 'Parking Relais', à Tours et 'La Crosneraie', à Sainte-Maure-de-Touraine (BAGUENIER *et al.* 2017 ; COUDERC *et al.* 2018 : 268). Une deuxième campagne de prospection magnétique permettrait de compléter le plan de ce petit site fortifié et plus particulièrement de son rempart oriental défendu par le fossé.

L'existence de sites dont la surface n'excède pas 3ha, fortifiés à l'aide de *muri gallici*, construction défensive complexe généralement associée aux grands *oppida*, n'est pas inconnue sur le territoire biturige et semble même en être une particularité. Peu distants de Villedieu,

deux autres sites de hauteur, également connus sous l'appellation de 'Camp de César', sont attestés à Niherne (Camp de César de l'Allemagne) et à Luant (Camp de César des Pornins). Le premier surplombe la rive droite d'une boucle de l'Indre, le deuxième se situe au-dessus de la Claise, près de ses sources, entouré par les étangs de la Brenne (**fig. 3.3.4 et 3.3.5**). Ce dernier possède une porte rentrante ouverte au sud-est, dominant la vallée. Contrairement au Camp de César de Villedieu, ceux de Luant et de Niherne sont actuellement envahis d'un épais couvert forestier. Le premier a même fait l'objet de sondages qui ont permis de mettre partiellement au jour une construction de type *murus gallicus* constitué de terre, de pierre et de bois assemblés avec des fiches en fer semblables à celles découvertes sur le Camp de César de Villedieu (BUCHSENSCHUTZ 2000 : 12 ; BATARDY, BUCHSENSCHUTZ et DUMASY 2001). Ces petits sites fortifiés en territoire biturige ont été interprétés par O. Buchsenschutz, I. Ralston et S. Krausz en tant que résidences aristocratiques imitant à petite échelle les grands *oppida* dont la fonction serait défensive mais tout aussi ostentatoire (BATARDY, BUCHSENSCHUTZ et DUMASY 2001 : 58 et 76). Ces sites seraient en rapport étroit avec le milieu rural tout en entretenant des liens d'ordre économique et social avec les grands oppida (BUCHSENSCHUTZ, KRAUSZ et RALSTON 2010). Sans rentrer dans le débat du statut social des occupants, qui ne peut être appréhendé pleinement sans l'aide du mobilier, ici absent, il est important de souligner l'emplacement stratégique et le maillage serré de ces petits sites fortifiés, qui mettent en lumière une volonté précise de défense et contrôle des cours d'eau et plus largement du territoire environnant. Leur emplacement est certainement à mettre en relation avec des voies d'accès tels des gués et des chemins. La question de la relation de ce site de hauteur, daté de La Tène finale *lato sensu*, avec les sites de fond de vallée découverts lors du diagnostic de 2018 et datés de la deuxième moitié du II^{ème} siècle av. J.-C., pourra être discutée dès que le mobilier archéologique issu des prospections pédestres de D. Audoux sera rendu disponible pour étude (*infra 3.4.1*). Ces deux entités ne sont distantes que de 2km et la vue principale depuis la plateforme du Camp de César ne rencontre aucun obstacle jusqu'à ces sites.

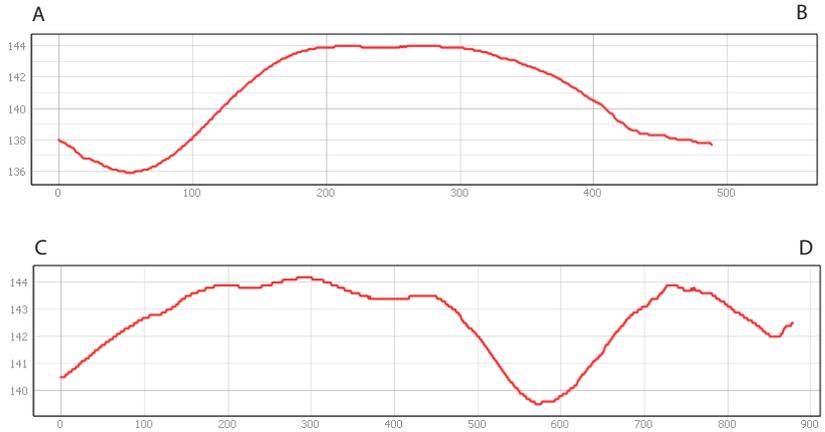
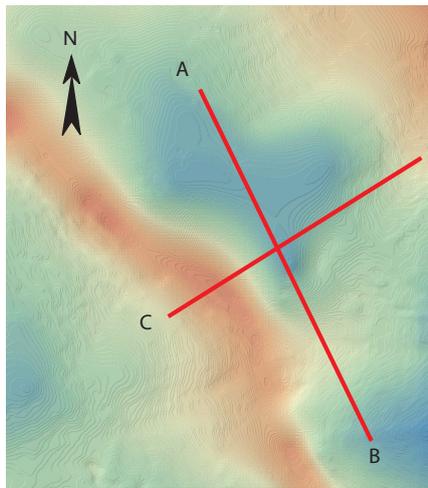
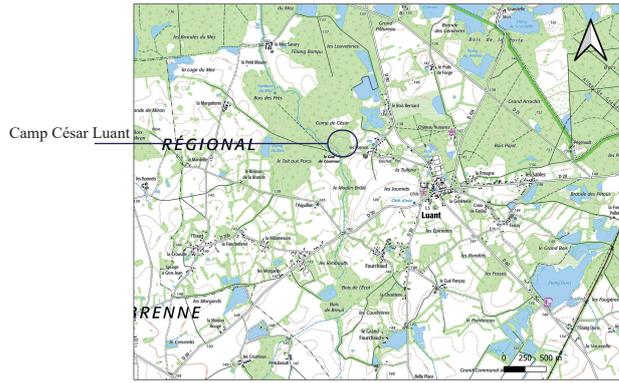


Camp de César/L'Allemagne à Nihérne



Camp de César à Villedieu sur Indre

Fig. 3.3.4 : Localisation, Lidar et coupes altimétriques des Camps de César à Villedieu et Nihérne (Ph. Gardère)



Camp de César à Luant

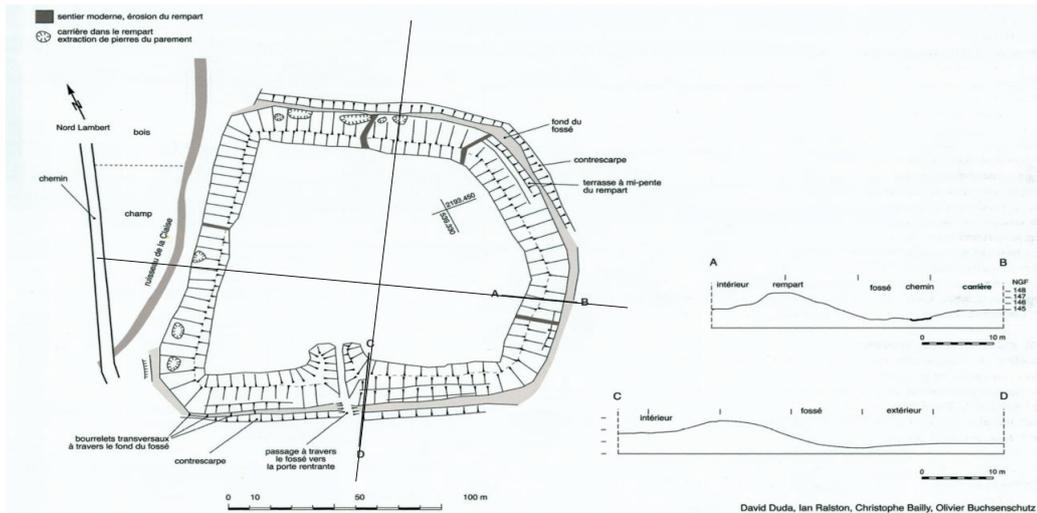


Fig. 3.3.5 : Localisation, LiDAR et coupes altimétriques du Camp de César à Luant . Comparaison avec le plan du rempart relevé (Ph. Gardère ; Batardy et al. 2001 : 60).

3.3.2 Architecture en milieu humide (F. Di Napoli et F. Epaud, ; annexe 10)

Au moins deux plans de bâtiments sur poteaux plantés ont pu être mis au jour à l'occasion du diagnostic de 2018 (ensemble 1 et 2). Les structures fouillées pour chaque ensemble ont livré des restes de poteaux en bois conservés au niveau du battement saisonnier de la nappe phréatique. La datation par dendrochronologie des deux bases de poteaux (F25 pour l'ensemble 1 et F53 pour l'ensemble 2) permet de proposer pour l'abattage des arbres et donc la construction des bâtiments une datation comprise entre 155 et 125 avant notre ère (La Tène D1a) en accord avec le faciès du mobilier céramique plus largement attribué à La Tène D1.

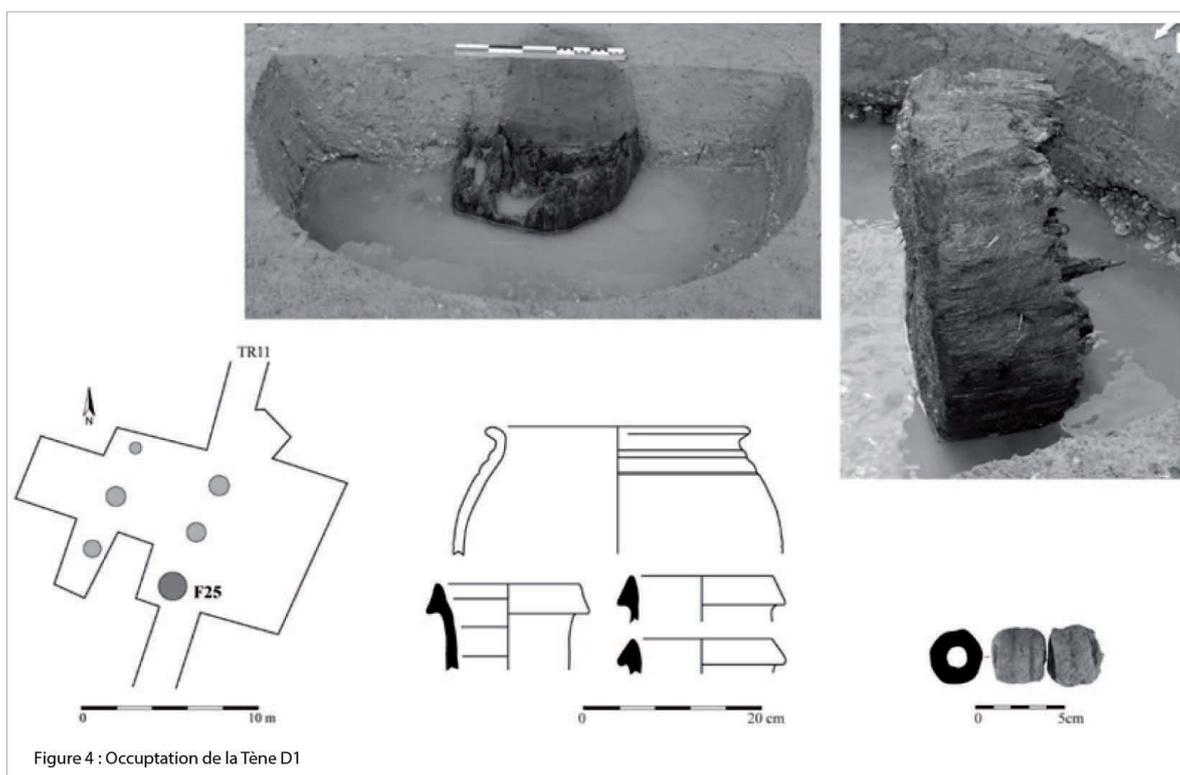


Figure 3.3.6 : plan de l'ensemble 1 et détail du bois du poteau de F25 (KILDEA *et al.* 2019 b : 69).

Parmi les deux poteaux, celui de F25 associé à l'ensemble 1 en tranchée 11 (**fig. 3.3.6**) présente un état de conservation exceptionnel qui a permis la reprise des observations pouvant fournir des renseignements sur l'environnement de croissance de l'arbre, la technique de taille et l'architecture du bâtiment (**annexe 10**). Le dernier point répond plus particulièrement aux questionnements relatifs à l'architecture en fond de vallée, car en effet, si l'emplacement des bâtiments a été certainement déterminé par des choix de secteurs propices, ces derniers n'ont pas pu toutefois les préserver des inondations fréquentes qui caractérisent encore aujourd'hui l'ensemble de la plaine de l'Indre (KILDEA *et al.* 2019 b : 45-48). Les crues hivernales pouvant atteindre régulièrement des hauteurs de l'ordre de 0,80 m. au-dessus du sol, la nature des

activités sur place, le caractère saisonnier de l'implantation ou l'éventuelle surélévation des bâtiments font partie des questionnements soulevés lors du diagnostic de 2018 que l'abandon du projet de fouille n'a pas permis d'éclaircir mais que la reprise de l'analyse de ces vestiges de bois dans le cadre de cette prospection permet enfin d'aborder. Les observations ont été réalisées sur la moitié du poteau conservé après les découpes effectuées par Dendrotech, ce qui a déterminé une perte de certaines informations, en partie compensée par le retour aux photos.

Le poteau de F25 provient d'une grume de chêne d'environ 142 ans abattu entre 155 et 125 avant notre ère. Une croissance initiale, rapide, en milieu ouvert et dégagé, généralement associée à la ripisylve, est témoignée par la lecture des 50 premiers cernes et par la forte inclinaison d'un côté du poteau, signe d'un évasement important au niveau de la base du fût. Puis, un rétrécissement du diamètre et une croissance plus lente, marquent le passage à un milieu fermé, plus contraignant, signe évident d'un changement dans la gestion forestière à l'aube du II siècle avant notre ère. Ce phénomène est à l'origine de la forme tronconique observée à la base des deux poteaux F25 (ensemble 1) et F53 (ensemble 2) et expliquerait en partie la réduction de la taille des fantômes de poteau observée sur les deux coupes (**fig. 3.3.7**).

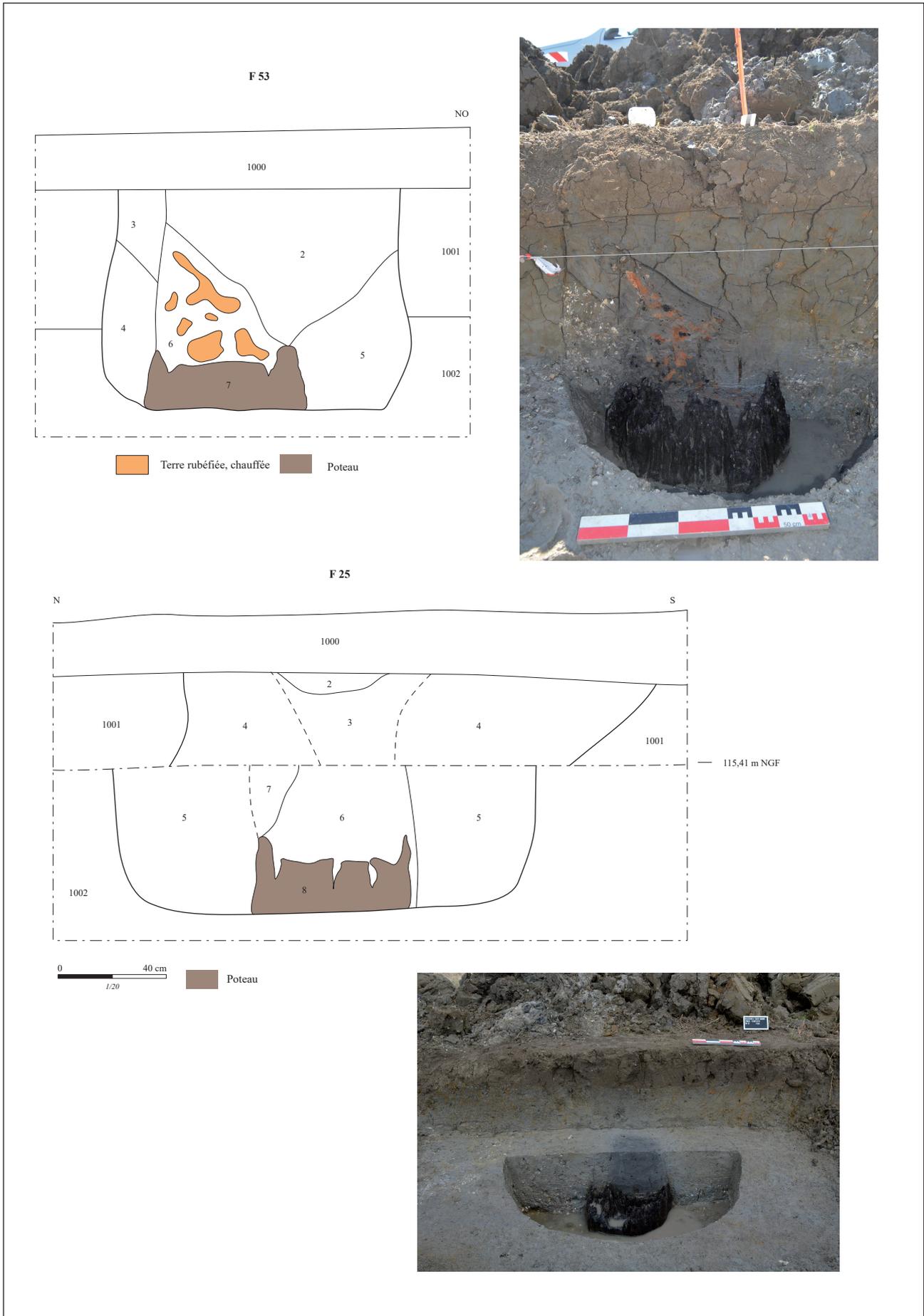


Fig. 3.3.7 : relevés et photos des coupes de F25 et F54 (Kildea et al. 2019)

Pour la mise en œuvre du bois les charpentiers ont utilisé la forme naturelle de la grume, ovale, avec peu de retailles latérales à la hache dont au moins quatre sont visibles sur la demi-bille encore conservée (**fig. 3.3.8**).

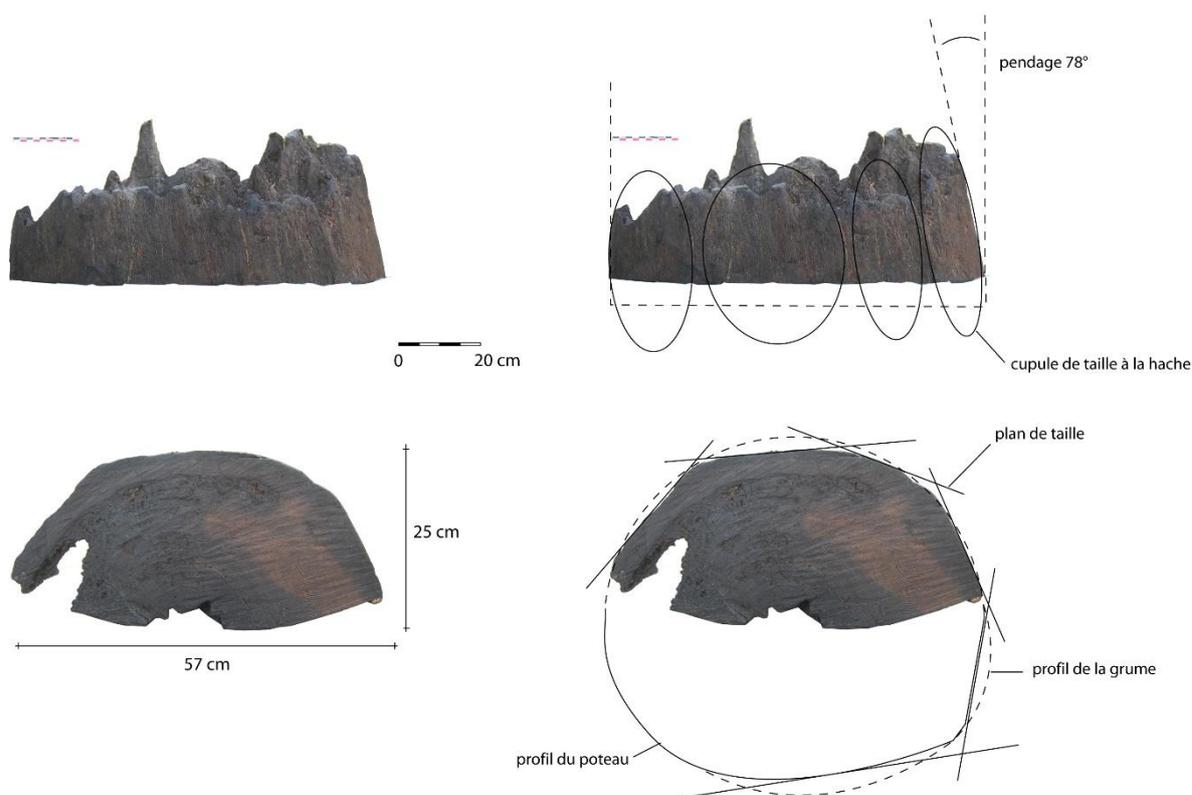


Fig. 3.3.8 : restitution de la forme de la grume et des retailles effectuées à la hache (F. Epaud)

La réduction du diamètre causée par le passage à une futaie plus dense, aurait rendu le tronc exploitable pour la construction sur une longueur inférieure à 6 mètres, correspondant à la hauteur des premiers mètres de croissance rapide de l'arbre. Cette donnée, associée à une importante perte de matière lors de la réalisation du fond plat (**fig. 3.3.5**), suggère que le fût n'aurait pu être exploité au maximum que pour deux poteaux de 2 à 3 m maximum, limitant ainsi la hauteur restituable de l'ensemble 1 à un rez-de-chaussée, une fondation de plate-forme ou pilotis, ou au maximum d'un poteau d'un rez-de-chaussée surélevé sur pilotis dans le cas d'un seul bois exploitable pour ce fût, en tenant compte de l'enfouissement du poteau à 1,50 maximum. La conception d'une base plate du poteau au fond du creusement peut suggérer une construction élaborée avec d'autres bois assemblés en élévation, contrairement à une charpente qui aurait dû s'adapter à des poteaux époinçés enfoncés en force dans le substrat humide de façon inégale et auxquels il aurait été complexe d'assurer la parfaite connexion des assemblages des parties hautes. L'hypothèse d'une construction sur plateforme en fond de vallée, évoquée

lors du diagnostic, pouvant répondre aux conditions difficiles d'un terrain humide soumis aux crues régulières de l'Indre, se trouve donc corroborée par cette analyse ainsi que par l'utilisation du même type de construction documentée, encore aujourd'hui à proximité des rives de l'Indre. Lors d'une prospection pédestre réalisée l'année dernière sur la parcelle ZL0099, propriété de M. Doiseau, nous avons en effet pu documenter l'existence d'une ancienne cabane de pêche construite sur pilotis toujours exploitée (**fig. 3.3.9 et fig. 3.3.10**).



Fig. 3.3.9 : localisation de la parcelle ZL0099 abritant la cabane sur pilotis, prospectée en 2021.



Fig. 3.3.10 : vue générale et détail de la cabane de pêche sur pilotis située à proximité de la rive gauche de l'Indre (photos : F. Epaud et F. Di Napoli).

3.3.3 Prospection aérienne par drone (F. Di Napoli, L. Dody, F. Kildea ; annexe 11).

Une série de prospections aériennes a été réalisée par L. Dody, directeur des services techniques de la mairie de Villedieu-sur-Indre et bénévole de notre équipe, en profitant de la sécheresse de l'été 2022. Ces clichés complètent ceux déjà réalisés l'année dernière et permettent de mettre en valeur le potentiel archéologique du territoire environnant, du fond de vallée au plateau.

- *Le grand fossé ovale et le réseau parcellaire des parcelles diagnostiquées en 2018*

Lors de la campagne de terrain de juin dernier des clichés aériens a été réalisée sur les parcelles proches. Sur la parcelle ZL0052 diagnostiquée en 2018 et située juste à l'est des sondages de cette année, deux structures ressortent particulièrement. La première est le contour d'une grande enceinte ovale localisée au nord-ouest de l'emprise de diagnostic : elle enserre un groupe d'anomalies circulaires visibles dans le paysage et sur la cartographie LiDar et comparables à celles testées en 2021 et 2022 (**fig. 3.3.11**).

Tout au nord de l'emprise du diagnostic, les clichés aériens permettent de compléter le plan d'un enclos dont le fossé sud avait été repéré à l'occasion de cette opération. Les photos mettent en évidence les tranchées du diagnostic 2018 et un réseau de fossés qu'on peut mettre en relation avec le fossé rattaché à la période 2 de l'occupation laténienne, contemporain des ensembles architecturaux aux bois conservés. **(fig. 3.3.12).**



Figure 3.3.11 : localisation et tracé de l'enclos ovale repéré par photo aérienne au nord-ouest de l'emprise de diagnostic (photos par drone L. Dody).



Figure 3.3.12 : localisation et tracés du réseau de fossés parcelaires en continuité avec celui découvert lors du diagnostic 2018, au nord de l'emprise (photos par drone L. Dody).

- Les sites potentiels dans le territoire environnant (annexe 11_L. Dody)

La suite de la prospection aérienne est présentée en annexe (annexe 11) : une carte de localisation permet de pointer les principaux sites repérés entre 2021 et 2022 sur le territoire de la commune (fig. 3.3.13). Les tracés foncés dessinant des formes carrées, rectangulaires ou trapézoïdales, peuvent correspondre à des enclos fossoyés pour certains desquels il est possible de distinguer des interruptions, identifiables en tant qu'accès et des partitions internes (sites 8 et 13). Par leurs forme et dimensions, certains évoquent des établissements ruraux laténiens (sites 5, 8, 13). Pour les petites formes carrées fossoyées ou maçonnées dont les côtés sont compris entre 10 et 25 m, l'interprétation reste plus délicate (sites 4, 7). Elles pourraient correspondre à des petits sanctuaires ou des enclos funéraires isolés. Le cas du site 7 est emblématique : situé en contrebas du Camp de César et du petit hameau de Chambon, à proximité de l'actuel lavoir sur la rive droite de l'Indre, cette forme rectangulaire de 25 m de côté et bordée à l'est par un tracé rectiligne pourrait s'apparenter à un sanctuaire en bordure de voie. Cette dernière suit le tracé nord-sud repris par la route actuelle qui enjambe l'Indre pour relier le hameau de Chambon et le château de Chamousseau.



Figure 3.3.13 : Carte de répartition sur fond IGN des sites détectés lors de la prospection par drone en 2021 et 2022 (L. Dody et P. Gardère ; infra annexe 11).

Le tracés plus clairs pouvant correspondre à des structures maçonnées renvoient à des fermes et petites *villae* gallo-romaines comme celle déjà répertoriée par J. Holmgren sur le territoire de Villedieu et plus largement de l'Indre (HOLMGREN 2022 : 9-28). Ici, le secteur le plus riche se situe autour du carrefour des Varennes, en lisière des communes de Villedieu et de La

Chapelle Orthemale aux lieux dit 'Les Sables'/'Les Coteaux'/'La Grosse Borne' (sites 1, 2 et3) où déjà l'année dernière une prospection aérienne et pedestre avaient révélé l'existence d'une structure complexe bordant une voie pouvant correspondre à un sanctuaire et un *fanum* (DI NAPOLI *et al.* 2021 b : 40-43). À l'instar du site des Varennes 'Les Sables', l'atelier métallurgique du Marchais Veron et l'enceinte de Belles Verdelles ont fait l'objet de notices de sites au cours de rapports et d'articles (DI NAPOLI *et al.* 2021 b : 44-45 ; DODY et COULON 2022 : 29-35).

3.4 Axe 4 : reprise du matériel et de la documentation ancienne

3.4.1 La collection D. Audoux au GHAB

La mise en place de l'axe 4 au sein du programme de 2021 avait comme finalité la reprise des études de la documentation et des artefacts provenant des prospections pedestres réalisées sur le Camp de César et le Bois Moret par D. Audoux. Ces derniers sont actuellement propriété du GHAB qui les garde dans ses dépôts, à Buzançais. La reprise de l'étude de ce mobilier (céramiques, amphores, *instrumentum*) visait à mieux caractériser le faciès chronologique de ces deux sites déjà répertoriés par la carte archéologique. Si l'accès à la documentation du prospecteur nous avait été accordé en 2021 par l'ex-président du GHAB Jacques De Verneuil, Luc Mabile, nouveau président de l'association depuis 2022, vous a notifié le refus d'accès à la collection peu avant le début de notre campagne et ce malgré une relance du Service Régional de l'Archéologie, rappelant à l'association la nécessité de mettre à disposition le mobilier issu de prospections autorisées par la DRAC. L. Mabile nous a toutefois assuré que le mobilier sera mis à disposition des chercheurs après finalisation de l'inventaire de toute la collection actuellement en cours de réalisation par D. Dubant et quelques bénévoles.

3.4.2 Les fours de potiers de Mehun

Une demande d'accès à la collection issue des fouilles des fours de potiers gaulois de Mehun réalisées dans les années 1970, a été adressée à G. Coulon, responsable de la fouille et propriétaire du mobilier. Après autorisation, six caisses contenant de la céramique et de la terre cuite architecturale ont été prélevées des dépôts du GHAB qui en est le dépositaire. La demande d'accès à cette collection vise la reprise de l'étude du mobilier issu de ces fouilles dans la perspective de rédaction d'un article en collaboration avec G. Coulon. Le site et le mobilier ont déjà été partiellement présentés dans un article par G. Colon et Odier au début des années '80 (COULON et ODIOT 1980 : 81-94). Les auteurs y abordent l'étude archéologique et typologique du four et du corpus céramique, essentiellement composé de pots, jarres et jattes, mais également les questions concernant l'approvisionnement des matières premières à travers la

comparaison des argiles de récipients avec des prélèvements effectués dans les environs proches des fours (COULON et ODIOT 1980 : 92). La reprise de la chronologie des vases par M. Bouchet dans le cadre de sa thèse sur la céramique de la fin de l'âge du Fer dans le Berry (BOUCHET 2017 : 226-227), a permis de dater la production des fours de Mehun à La Tène D1, soit au même moment que les bâtiments en bois conservés attestés sur la parcelle du diagnostic. Par ailleurs la découverte à cette même occasion de vases techniquement et morphologiquement proches de ceux documentés pour les fours de Mehun, conforte l'hypothèse d'un lien direct entre les deux sites distants d'environ 4 Km à vol d'oiseau.

La reprise exhaustive du mobilier céramique et de la documentation permettra de préciser les questions relatives à la production potière de Villedieu à la lumière des récentes découvertes d'ateliers de potiers réalisées dans la région et de vérifier dans le détail (composition des argiles) la correspondance entre les productions de cet atelier et celles documentées sur l'occupation contemporaine attestée au 'Grand Saint Bonnet'.

4 Synthèse des données de la campagne 2022 et perspectives de recherche

4.1 Acquisitions à la lumière des résultats des deux campagnes de prospection

L'histoire de la plaine alluviale de l'Indre à l'Holocène a pu être éclaircie grâce aux différentes actions et observations amorcées dès le diagnostic de 2018 et complétées avec les deux campagnes de prospection de 2021 et 2022. Elle débute avec les chenaux documentés sur la moitié méridionale de la plaine de l'Indre qui incisent les alluvions de la terrasse Fy attribuée au Pléistocène. La base du comblement des chenaux est datée du Boréal (10200-9700 cal BP), les dépôts témoignent ensuite d'un hydrodynamisme peu élevé. Les nombreux éléments organiques permettent de reconstituer un paysage peu différent de l'actuel, caractérisé par une biodiversité propre aux milieux humides en fond de vallée et une couverture végétale des coteaux environnants constituée majoritairement de chênes et noisetiers. La fin du fonctionnement des paléochenaux marque une étape majeure dans la dynamique de la plaine alluviale, bien qu'elle ne puisse pas être chronologiquement calée à l'état actuel de la recherche (en attente des datations OSL des sédiments prélevés). Seul un *terminus ante quem* au V^{ème} siècle av. J.-C., fourni par l'ancrage des premières structures archéologiques documentées, caractérise la mise en place de certains dépôts plus grossiers scellant définitivement les comblements des paléochenaux. La dernière partie de l'histoire de la plaine alluviale est représentée par une sédimentation de lit majeur avec une accrétion régulière des dépôts plus ou

moins fins alimentés par des crues de fréquence et intensité variables au cours des deux millénaires. Les éléments disponibles montrent des apports diachroniques débutant probablement avant la fin du premier âge du Fer et bien documentés à partir du début de la période médiévale. Dans cet intervalle se produit une probable avulsion de l'Indre par le biais de la formation d'un réseau de chenaux documenté sur la cartographie LiDar dans la partie centrale de la plaine.

Les différentes occupations humaines qui s'échelonnent depuis la Protohistoire, documentées par les différents axes, s'inscrivent dans une profonde connaissance de l'environnement et marquent une adaptabilité aux conditions parfois difficiles du milieu humide de fond de vallée. Dès l'âge du Fer le choix des implantations se porte sur des secteurs propices et celui des architectures sur plateforme s'adapte aux inondations saisonnières de l'Indre. Le choix des argiles pour la production potière de Mehun révèle une fine connaissance des divers points d'approvisionnement disponibles de la part des artisans. La raison et l'organisation de ces occupations de fond de vallée ne peuvent être appréhendées sans tisser un lien avec le territoire environnant et les installations humaines des plateaux et versants. Bien qu'en attente d'éléments chronologiques plus précis, les installations d'hauteur surplombant l'Indre en rive droite, tels le *tumulus* de Chambon, le probable champ tumulaire du bois Moret pour les périodes protohistoriques plus anciennes et le Camp de César pour la fin de l'âge du Fer, marquent profondément le paysage et semblent être en relation directe avec les occupations documentées en fond de vallée, sur la rive opposée. Si pour les périodes plus anciennes de la Protohistoire le type, l'organisation et la chronologie des installations humaines restent encore à définir, ceux rattachés à la période de La Tène finale se précisent davantage grâce aux nouvelles acquisitions portées par ces campagnes de prospection : la présence de bâtiments sur plateformes en fond de vallée, à proximité de l'Indre, où seules des amphores et jarres de stockage sont documentées, sont à mettre en relation avec des activités de transport/commerce *via* la rivière proche. Ces installations pourraient être en lien avec les fours de potiers de Mehun, proches et contemporains, ainsi qu'avec les sites fortifiés de hauteur et les établissements ruraux documentés par la photographie aérienne. La fin de la Protohistoire semble donc être marquée dans ce secteur par un dense maillage d'occupations caractérisées par des interactions homme/milieu très marquées qui préfigure l'installation de l'agglomération secondaire gallo-romaine. Cette configuration corrobore la vision d'un territoire biturige structuré et hiérarchisé à plusieurs niveaux dès la fin du premier âge du Fer, avec l'essor du complexe princier de Bourges. Ce dernier constitue une première étape dans le complexe phénomène d'urbanisation

qui connaîtra son acmé à La Tène finale avec l'émergence des grands *oppida* et de petits sites fortifiés caractéristiques du territoire Biturige, auxquels les Camp de César de Villedieu, Niherne et Luant se rattachent.

4.2 Perspectives de recherches

Le programme de prospections marque un coup d'arrêt et aucune demande n'a été soumise à la DRAC pour 2023. La raison principale est l'impossibilité, pour la responsable de l'opération, d'assurer le suivi d'une opération très chronophage tout en étant en congé de recherche pour la finalisation d'une thèse sur travaux. Parallèlement, les objectifs fixés en début de prospection thématique ont été atteints, dans la limite du budget et des autorisations disponibles, ouvrant des perspectives de recherche plus spécifiques pouvant être abordées dans le cadre d'un PCR, tel qu'il était annoncé en début de programme. Ce dernier sera construit en concertation avec le SRA en partant des problématiques soulevés par ces campagnes de prospection. La rédaction d'un article illustrant les résultats inédits du diagnostic et de ces deux années de recherche est prévu pour 2023/2024 et sera préliminaire à la mise en œuvre du PCR. Ce dernier intégrera également les résultats des diagnostics et fouilles du tracé de la déviation de Villedieu qui doit démarrer en début d'année prochaine (fig. 4.1). Couvrant le versant nord, il est susceptible de traverser plusieurs secteurs sensibles dont le Bois Moret et celui à proximité du tumulus de Chambon. Dans ce secteur, une zone d'accumulation sédimentaire au débouché d'un vallon revêt un intérêt de premier plan pour l'obtention de données chronologiques et environnementales sur la rive droite de l'Indre, qui pourront être comparées aux résultats obtenus entre 2018 et 2022 sur sa rive gauche.

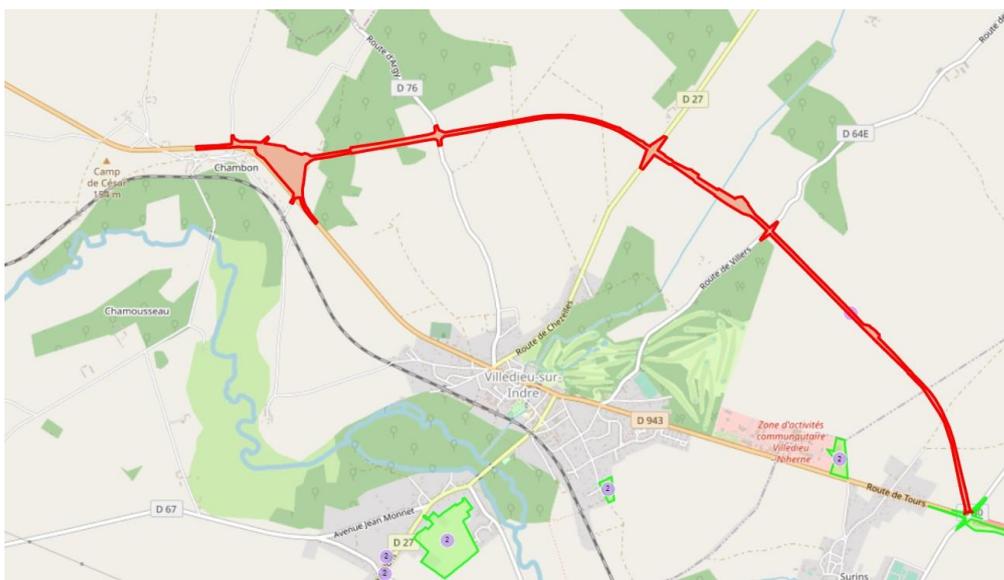


Figure 4.1 : Tracé de la déviation de Villedieu-sur-Indre (extrait de ILIAD, Inrap).

Bibliographie

AUDOUX et COULON 2021

Audoux D. et Coulon G. - Le Camp de César à Villedieu-sur-Indre (Indre), L'Indre et son passé, Bulletin du Groupe d'Histoire et d'Archéologie de Buzançais, n° 48, 2021, p. 29-39, 14 fig., : 29-39.

BAGUENIER *et al.* 2011

Baguenier J.-P., Coubray S., Coulon J.-F., Di Napoli F., Fontaine A., Gardère P., Gransar M., Lusson D., Pradat B., Raudin S. et Robert G. - *Déols, Indre, « Les Bapaumes », « Les Conilles ». Un établissement gaulois à Déols (36). Rapport Final d'Opération, Inrap, Centre-Ile-de-France, SRA Orléans.*, 421 p.

BAGUENIER *et al.* 2017

Baguenier J.-P., Di Napoli F., Bouillon J., Braguier S., Dunikowski C., Coubray S., Gardère P., Gransar M., Pradat B. et Lusson D. - *Sainte-Maure-de-Touraine, Indre-et-Loire (37), La Crosneraie. LGV SEA - L'établissement laténien rural de La Crosneraie. Rapport d'opération. Fouille archéologique. Inrap, Grand Sud-Ouest, Juin 2017*, 548 p.

BATARDY, BUCHSENSCHUTZ et DUMASY 2001

Batardy C., Buchsenschutz O. et Dumasy F. - « Le Berry antique ». Atlas 2000, 21e supplément à la Revue Archéologique du Centre de la France, 2001.,

BOUCHET 2017

Bouchet M. - *La céramique de la fin de l'âge du Fer dans le Berry. Approches chronologique, culturelle et territoriale de la société des Bituriges (Ile-Ier s. av. J.-C.). 67e supplément à la Revue Archéologique du Centre de la France. 2017, 289 p., FERACF n° 67e supplément, 2017*

BUCHSENSCHUTZ 2000

Buchsenschutz O. - *Sondages sur les habitats fortifiés de La Tène finale de la Grotte (Cher), Meunet-Planches et Luant (Indre), en septembre 1999, 2000.*

BUCHSENSCHUTZ, KRAUSZ et RALSTON 2010

Buchsenschutz O., Krausz S. et Ralston I. - Architecture et chronologie des remparts celtiques du Berry et du Limousin, in Stéphane Fichtl (dir.), *Murus celticus. « Architecture et fonction des remparts de l'âge du fer »*, Actes de la table ronde organisée par l'UMR 7044 de Strasbourg, l'UMR 6173-CITERES de Tours et Bibracte, à Glux-en-Glenne, 11 et 12 octobre 2006. Glux-en-Glenne, Bibracte 19, 2010, p. 297-313., 2010

COUDERC *et al.* 2018

Couderc A., Boulen M., Cambou D., Cammas C., Couvin F., Di Napoli F., Garnier N., Lusson D., Pradat B., Robert G., Robin B. et Troubady M. - Les établissements ruraux de La

Tène finale (IIe-milieu Ier siècle av. J.-C.) et du Haut-Empire (Ier-IIIe siècle ap. J.-C.) du site de Tours « Champ Chardon » (Indre-et-Loire), in : , *Des établissements laténiens et gallo-romains sur le plateau de Tours Nord (Indre-et-Loire) : les fouilles de « Champ Chardon » et du « Tramway »*, Supplément à la Revue Archéologique du Centre de la France, FERACF, 2018.

COULON 2022

Coulon G. - Le Camp de César à Villedieu-sur-Indre (Indre). Découverte de trois nouvelles fiches en fer et peut-être d'un crochet défensif (*stimulus*), in *L'Indre et son passé*, bulletin n° 49, 2022 : 37-38, 2022.

COULON et ODIOT 1980

Coulon G. et Odiot T. - Un atelier de potiers de la Tène finale à Villedieu-sur-Indre (Indre), *Revue archéologique du Centre de la France* [En ligne], 19, 1 : 81-94.

DI NAPOLI *et al.* 2019

Di Napoli F., Kildea F., Gardère P., Braguier D., Lusson D., Robert G. et Robin B. - *Les occupations du second âge du Fer à Villedieu-sur-Indre « Le Grand-Saint-Bonnet » (Indre)* [En ligne], *Research Report*, AFEAF,

DI NAPOLI *et al.* 2021

Di Napoli F., Coulon G., Gardère P., Kildea F., Audoux D., Hulin G., Lacroix S. et Milcent P.-Y. - *Villedieu-sur-Indre (36) Approche multiscalaire des dynamiques environnementales et anthropiques de la moyenne vallée de l'Indre. Rapport de prospection thématique année 2021*, 76 p.

DODY et COULON 2022

Dody L. et Coulon G. - L'enceinte des Belles-Verdelles à Villedieu-sur-Indre (Indre). Une énigme enfin résolue! in *L'Indre et son passé*. Bulletin n° 49, 2022, , 49 : 29-35.

FICHTL 2021

Fichtl S. - Des remparts dans les établissements ruraux ?, in : Delrieu F., Féliu C., Gruat P., Kurzaj M.-C. et Nectoux É. (dir.), *Les espaces fortifiés à l'âge du Fer en Europe. Actes du 43e colloque international de l'Association française pour l'étude de l'âge du Fer (Le Puy-en-Velay, 30 mai-1er juin 2019)*, AFEAF, p. 97-114.

HOLMGREN 2022

Holmgren J. - Fermes maçonnées et petites villae gallo-romaines avec bâtiment principal au module de trois pièces et variants (Indre), in *L'Indre et son passé*, bulletin n° 49, 2022, , 49 : 9-28.

KILDEA *et al.* 2019

Kildea F., avec la collaboration de Fayçal Ben Nejma M. C. Nathalie Daviaud. ... [et al.],,

Kildea Fiona, Di Napoli Francesca, Gardère Philippe, Robert Gaëlle, Barbier-Pain Delphine, Braguier Séverine, Lusson Dorothée, Robin Boris, Ben Nejma Fayçal, Cunault Mathias, Daviaud Nathalie, Pichon Isabelle, Roubaud Léa, et Tricoire Jérôme. - *Villedieu-sur-Indre, « Chétifs Prés » et « Grand Saint-Bonnet » : Occupations laténiennes de fond de vallée et paléoenvironnement Boréal : Centre-Val de Loire : rapport de diagnostic*, Inrap CIF,

MAGUER *et al.* 2018

Maguer P., Achard-Corompt N., Gaudefroy S., Robert G., Le Gall J., Besnard-Vauterin C.-C. et Poitevin G. - Maisons et dépendances à l'âge du Fer dans le nord et l'ouest de la France : de La Tène moyenne à La Tène finale, *in* : Tieg A. V.-L., Menez Y. et Maguer P. (dir.), *Architectures de l'âge du Fer en Europe occidentale et centrale. Actes du 40e colloque international de l'Association française pour l'étude de l'âge du Fer (Rennes, 4-7 mai 2016)*, Archéologie & Culture, Presses universitaires de Rennes, 2018.

Liste des figures et annexes

Figure 1.1 Localisation des actions des axes 1, 2 et 3 au sein du programme de prospection thématique de 2022.

Figure 2.1 Sondages mécaniques au fond de la parcelle ZL0054 à l'emplacement du paléochenal du Boréal (cliché par drone L. Dody) .

Figure 2.2 Révélé de susceptibilités magnétique sur la coupe de l'anomalie circulaire entre les Parcelles ZA105 et ZL055 (photo F. Epaud).

Figure 2.3 Animation d'ateliers archéologiques à Villedieu-sur-Indre lors des JEP 2022 (D. Chevalier-Gontier).

Figure 3.1.1 Datation des prélèvements de 2021 et 2022 (Ph. Gardère)

Figure 3.1.2 Localisation des prélèvements et profils sédimentaires de 2021 (Ph. Gardère)

Figure 3.1.3 Contexte topographique et implantation des sondages de 2022 (Ph. Gardère).

Figure 3.1.4 Relevés stratigraphiques du sondage 3 et localisation des prélèvements (Ph. Gardère).

Figure 3.1.5 Relevés stratigraphiques du sondage 2 (Ph. Gardère)

Figure 3.1.6 Relevés stratigraphiques des sondages 4, 5.1 et 6. Susceptibilité magnétique et prélèvements OSL (Ph. Gardère).

Figure 3.1.7 Transect synthétique, géométrie des dépôts dans les sondages 2 à 5 (Ph. Gardère)

Figure 3.1.8 Interprétation par phases d'après les analyses XRF pour les éléments majeurs et traces du Sd3 d'après L. Mairaville, annexe 5

Figure 3.1.9 Synthèse des interprétations par phases (PAF et granulométrie) pour le sd3 d'après L. Mairaville

Figure 3.1.10 Restes de noisettes et éléments organiques dans l'US 1006 du paléochenal (photo L. Mairaville).

Figure 3.1.11 Vestiges de sclérites d'insectes issu de l'US 1006 du paléochenal (photo J. Rollin).

Figure 3.1.12 Croquis et coupes des structures archéologiques repérées dans le sondage 5 (Dessin et DAO : L. Mairaville).

Figure 3.2.1 Localisation, croquis et coupe de la butte (Dessin et DAO : Di Napoli, L. Mairaville).

Figure 3.2.2 Coupe sud de la butte (photo F. Di Napoli)

Figure 3.2.3 Vue zénithale du niveau de grèzes de l'US 1. (Photo F. Di Napoli)

Figure 3.3.1 Localisation et étendu de la surface prospectée sur la parcelle ZM0072, à Villedieu-sur-Indre (B. Gouhier).

Figure 3.3.2 Carte des anomalies magnétiques relevées sur le Camp de César (B. Gouhier)

Figure 3.3.3 Interprétation des anomalies correspondant à la zone prospectée (B. Gouhier)

Figure 3.3.4 Localisation, LiDar et coupes altimétriques des Camps de César de Villedieu et Niherne (Ph. Gardère).

Figure 3.3.5 Localisation, LiDar et coupes altimétriques du Camp de César à Luant. Comparaison avec plan du rempart (Ph. Gardère et BATARDY, BUCHSENSCHUTZ et DUMASY 2001 : 60)

Figure 3.3.6 : plan de l'ensemble 1 et détail du bois du poteau de F25 (KILDEA *et al.* 2019 b : 69)

Figure 3.3.7 : relevés et photos des coupes des de F25 et F54.

Figure 3.3.8 : restitution de la forme de la grume et des retailles effectuées à la hache (F. Epaud)

Figure 3.3.9 : localisation de la parcelle ZL0099 abritant la cabane sur pilotis, prospectée en 2021.

Figure 3.3.10 : vue générale et détail de la cabane de pêche sur pilotis située à proximité de la rive gauche de l'Indre (photos : F. Epaud et F. Di Napoli).

Figure 3.3.11 : localisation et tracé de l'enclos ovale repéré par photo aérienne au nord-ouest de l'emprise de diagnostic).

Figure 3.3.12 : localisation et tracés du réseau de fossés parcellaires en continuité avec celui découvert lors du diagnostic 2018, au nord de l'emprise).

Figure 3.3.13 : Carte de répartition sur fond IGN des sites détectés lors de la prospection par drone en 2021 et 2022 (L. Dody et P. Gardère ; infra annexe 11).

Figure 4.1 : Tracé de la déviation de Villedieu-sur-Indre (extrait de ILIAD, Inrap).

Annexe 1 : arrêté de prescription

Annexe 2 : tableau des consommations en 2022

Annexe 3 : tableau des consommations en 2021

Annexe 4 : datations C14/D13, calibration et identification essences 2021 et 2022

Annexe 5 : étude géoarchéologique (L. Mairaville)

Annexe 6 : rapport carpologique (B. Pradat)

Annexe 7 : rapport anthracologique (S. Coubray).

Annexe 8 : étude entomologique des prélèvements organiques du paléochenal Boréal (J. Rollin)

Annexe 9 : résultats de la prospection magnétique (B. Gouhier)

Annexe 10 : étude des bois du poteau F25 de l'ensemble 1 du diagnostic (F. Epaud)

Annexe 11 : dossier des photographies aériennes par drone (L. Dody)

Annexe 1

Arrêté de prescription



**PRÉFÈTE
DE LA RÉGION
CENTRE-VAL
DE LOIRE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

**Direction régionale
des affaires culturelles**

Service Régional de
l'Archéologie

Orléans, le 28 février 2022

Affaire suivie par :
Pascal ALILAIRE
02 38 78 85 74

pascal.alilaire@culture.gouv.fr

Références : 22/PA/ACB541

Université de Tours
UMR 7324 – CITERES
MSH Val de Loire
33-35 Allée Ferdinand de Lesseps
37200 TOURS

Objet : Recherche archéologique programmée 2022

PT annuelle 2022 – Indre – VILLEDIEU-SUR-INDRE « Chapelle Orthemale »

Titulaire : DI NAPOLI Francesca

Désignation des pièces	Nombre	Observations
- Copie de mon courrier adressé à Madame Francesca DI NAPOLI ainsi que son arrêté de Prospection thématique n° 22/0161 en du 24 février 2022	1	Pour attribution

Pour la Préfète de la région Centre-Val de Loire,
et par subdélégation,
Le Conservateur régional de l'archéologie


Stéphane REVILLION



**PRÉFÈTE
DE LA RÉGION
CENTRE-VAL
DE LOIRE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

**Direction régionale
des affaires culturelles**

Arrêté n° 22/0161 Du 24/02/2022

portant autorisation de prospection thématique.

La Préfète de région ;

Vu le code du patrimoine et notamment son livre V ;

Vu l'arrêté n° 21.097 du 23 mars 2021 de la Préfète de la région Centre-Val de Loire portant délégation de signature à Monsieur Fabrice MORIO, Directeur régional des affaires culturelles du Centre-Val de Loire, notamment en matière d'administration générale ;

Vu l'arrêté n° R24-2021-09-01-00003 du Directeur régional des affaires culturelles de la région Centre-Val de Loire, en date du 1er septembre 2021, accordant subdélégation de signature à Monsieur Stéphane RÉVILLION, Conservateur régional de l'archéologie ;

Vu le dossier, enregistré sous le n° PGR242022000026, de demande d'opération archéologique arrivé le 20 décembre 2021 ;

ARRÊTE

Article 1 - Madame Francesca DI NAPOLI est autorisé(e), en qualité de responsable scientifique, à conduire une opération de prospection thématique à partir de la date de notification du présent arrêté jusqu'au 31 décembre 2022, sise en :

RÉGION : CENTRE-VAL-DE-LOIRE

- DEPARTEMENT : INDRE

- DEPARTEMENT : INDRE

COMMUNE : VILLEDIEU-SUR-INDRE

Lieudit ou adresse : Prairie de Géreau, Prairie Saint-Bonnet

Intitulé de l'opération : Villedieu-sur-Indre / La Chapelle Orthemale - Prairie de Géreau, Prairie Saint-Bonnet.

Programme de recherche : Axe 5. Les âges des métaux.

Code de l'opération : **0613000**

Article 2 - prescriptions générales

Les recherches sont effectuées sous la surveillance du conservateur régional de l'archéologie territorialement compétent et conformément aux prescriptions imposées pour assurer le bon déroulement scientifique de l'opération.

Le responsable scientifique de l'opération informe régulièrement le conservateur régional de l'archéologie de ses travaux et découvertes. Il lui signale immédiatement toute découverte importante de caractère mobilier ou immobilier. Il revient au préfet de région de statuer sur les mesures définitives à prendre à l'égard des découvertes.

À la fin de l'année civile, le responsable scientifique de l'opération adresse au conservateur régional de l'archéologie, en triple exemplaire papier plus un exemplaire au format pdf, un rapport accompagné des plans et coupes précis des structures découvertes et des photographies nécessaires à la compréhension du texte. L'inventaire de l'ensemble du mobilier recueilli est annexé au rapport d'opération. Il signale les objets d'importance notable. Il indique les études complémentaires envisagées et, le cas échéant, le délai prévu pour la publication.

Article 3 - destination du matériel archéologique découvert

Le responsable prend les dispositions nécessaires à la sécurité des objets mobiliers. Le mobilier archéologique est mis en état pour étude, classé, marqué et inventorié. Son conditionnement est adapté par type de matériaux et organisé en fonction des unités d'enregistrement. Le statut juridique et le lieu de dépôt du matériel archéologique découvert au cours de l'opération sont fixés conformément aux dispositions légales et réglementaires et aux termes des conventions passées avec les propriétaires des terrains concernés.

Article 4 - versement des archives de fouilles

L'intégralité des archives accompagnée d'une notice explicitant son mode de classement et de conditionnement et fournissant la liste des codes utilisés avec leur signification, fait l'objet de la part du responsable de l'opération d'un versement unique. Ce versement est détaillé sur un bordereau récapitulatif établi par le responsable de l'opération, dont le visa par le préfet de région vaut acceptation et décharge. Le lieu de conservation est désigné par le préfet de région.

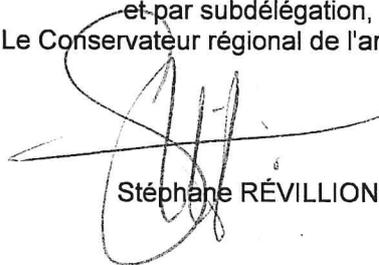
Article 5 - prescriptions particulières

Il est nécessaire d'intégrer les différentes actions de recherche au sein de problématiques mieux argumentées.

Article 6 - Le Directeur régional des affaires culturelles est chargé(e) de l'exécution du présent arrêté, qui sera notifié à Madame Francesca DI NAPOLI.

Fait à ORLEANS, le 24 février 2022

Pour la Préfète de la Région Centre-Val de Loire,
et par subdélégation,
Le Conservateur régional de l'archéologie



Stéphane RÉVILLION



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

PRÉFET DE LA RÉGION CENTRE VAL DE LOIRE

Direction régionale
des affaires culturelles

Service régional de l'archéologie

Affaire suivie par P. Alilaire

COURRIEL : secretariat-sra.drac-centre@culture.gouv.fr

TELEPHONE : 02.38.78.85.01

REFERENCE : 22/PA/ACB541

Madame Francesca DI NAPOLI

Laboratoire et Territoires

UMR 7324 CITERES

Université de Tours - CNRS

Maison des Sciences de l'Homme BP 60449

37204 TOURS Cédex 033

ORLÉANS, LE 28/02/2022

Objet : Programmation 2022 - Prospection thématique :
Villedieu-sur-Indre / La Chapelle Orthemale - Prairie de Géréau, Prairie Saint-Bonnet - 2022

Madame

J'ai l'honneur de vous faire savoir que votre dossier a bien été examiné par la Commission territoriale de la recherche archéologique Centre-Nord, les 7, 8 et 9 février 2022.

La commission a donné un avis favorable à votre demande.

Vous voudrez bien trouver ci-joint l'original de l'arrêté d'autorisation relatif à cette opération. L'extrait du procès-verbal approuvé de cette commission vous sera transmis ultérieurement.

La commission a reçu votre rapport de prospection thématique annuelle. Sans remettre en cause la qualité des travaux conduits, elle attire votre attention sur la nécessité d'intégrer les différentes actions de recherche au sein de problématiques mieux argumentées.

Sous réserve de la décision de Madame la Préfète de la région Centre Val-de-Loire, cette opération devrait bénéficier d'une subvention de 5000 euros, qui vous sera notifiée par celle-ci. Ce financement accordé à l'opération prendra la forme d'une subvention globale, qui couvrira travaux, analyses éventuelles et fonctionnement.

Je vous prie d'agréer, Madame, l'expression de mes salutations les meilleures.

Pour la Préfète de la région Centre-Val de Loire,
et par subdélégation,
Le Conservateur régional de l'archéologie

Stéphane REVILLION

Annexe 2

Dépenses 2022

Analyse	Nb	Prix/unité	Total TTC	Total HT	Prestataire	Participant	Financements hors DRAC
C14/C13	3	244	732	732	Laval, Québec	Guillaume Labrecque	500 euros - LAT CITERES
lames minces	3	96	369	308	Bordeaux, PACEA	Pauline Degas	
contrat étudiante 78h/mois			1317	1317		Léa Mairaville	
prospection magnetique			1752	1460	Analyse-GC	Bastien Gouhier	
location pelle mécanique 3 j			3061	2549	ATPLC		1000 euros -mairie Villedieu
hébergement et autres consommables			729	729			
deplacements			334	334			
			8294	7429			

Annexe 3

Dépense 2021

Annexe 4

Datations C14

Francesca Di Napoli

17 octobre 2022

Résultats ¹⁴ C										
# Laboratoire externe	# Université Laval	# Client (Type échantillon)	Pré-traitement	D ¹³ C (‰)	F ¹⁴ C	±	D ¹⁴ C (‰)	±	¹⁴ C âge (BP)	±
UCIAMS-268064	ULA-10697	VI22 sondage 4 (charbon)	HCl - NaOH - HCl	-25.2	0.7397	0.0013	-260.3	1.4	2420	15
UCIAMS-268065	ULA-10698	Tum1 ech 7 US 6 (charbon)	HCl - NaOH - HCl	-25.9	0.8558	0.0015	-144.2	1.5	1250	15

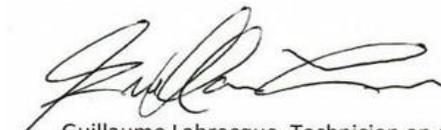
Les concentrations radiocarbone sont données comme fractions du standard moderne, d14C, et âge radiocarbone conventionnel, et suivent les conventions de Stuiver et Polach (Radiocarbon, v.19, p.355, 1977).

Des échantillons mesurant le bruit de fond de l'appareil ont été soustraits, préparés avec des blancs ne contenant pas de 14C (bois pour les échantillons organiques, calcite pour les carbonates et os de mammouth pour les os et dents).

Tous les résultats ont été corrigés en fonction du fractionnement isotopique selon les conventions de Stuiver et Polach (1977), avec des valeurs d13C mesurées sur le graphite préparé, en utilisant le spectromètre AMS. Ces valeurs (qui ne sont pas montrées) peuvent être différentes des d13C du matériel original, si du fractionnement s'est produit durant la graphitisation de l'échantillon ou lors de la mesure AMS.

Remarque:

Les valeurs D¹³C ci-dessus ont été mesurées à une précision <0.1‰ avec un spectromètre de masse Finnigan MAT252 (IRMS).


 Guillaume Labrecque, Technicien en charge

Francesca Di Napoli

21 novembre 2022

Résultats ¹⁴ C										
# Laboratoire externe	# Université Laval	# Client (Type échantillon)	Pré-traitement	D ¹³ C (‰)	F ¹⁴ C	±	D ¹⁴ C (‰)	±	¹⁴ C âge (BP)	±
UCIAMS-269268	ULA-10699	Tum1 ech 1 interface entre US 6 et 4 (charbon)	Aucun	-25.2	0.7367	0.0012	-263.3	1.2	2455	15

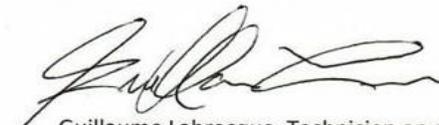
Les concentrations radiocarbone sont données comme fractions du standard moderne, d14C, et âge radiocarbone conventionnel, et suivent les conventions de Stuiver et Polach (Radiocarbon, v.19, p.355, 1977).

Des échantillons mesurant le bruit de fond de l'appareil ont été soustraits, préparés avec des blancs ne contenant pas de 14C (bois pour les échantillons organiques, calcite pour les carbonates et os de mammoth pour les os et dents).

Tous les résultats ont été corrigés en fonction du fractionnement isotopique selon les conventions de Stuiver et Polach (1977), avec des valeurs d13C mesurées sur le graphite préparé, en utilisant le spectromètre AMS. Ces valeurs (qui ne sont pas montrées) peuvent être différentes des d13C du matériel original, si du fractionnement s'est produit durant la graphitisation de l'échantillon ou lors de la mesure AMS.

Remarques:

- 1) Cet échantillon n'a pas été pré-traité car la quantité soumise était minime.
- 2) La valeur D¹³C ci-dessus a été mesurée à une précision <0.1‰ avec un spectromètre de masse Finnigan MAT252 (IRMS).


 Guillaume Labrecque, Technicien en charge

Francesca Di Napoli

18 février 2022

Résultats ¹⁴ C										
# Laboratoire externe	# Université Laval	# Client (Type échantillon)	Pré-traitement	D ¹³ C (‰)	F ¹⁴ C	±	D ¹⁴ C (‰)	±	¹⁴ C âge (BP)	±
UCIAMS-257727	ULA-10196	ZL54.09 /170 (écorce)	HCl - NaOH - HCl	-30.8	0.3371	0.0010	-662.9	1.0	8735	25

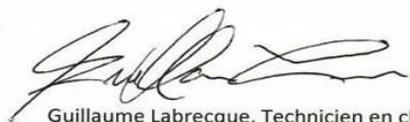
Les concentrations radiocarbones sont données comme fractions du standard moderne, d14C, et âge radiocarbone conventionnel, et suivent les conventions de Stuiver et Polach (Radiocarbon, v.19, p.355, 1977).

Des échantillons mesurant le bruit de fond de l'appareil ont été soustraits, préparés avec des blancs ne contenant pas de 14C (bois pour les échantillons organiques, calcite pour les carbonates et os de mammoth pour les os et dents).

Tous les résultats ont été corrigés en fonction du fractionnement isotopique selon les conventions de Stuiver et Polach (1977), avec des valeurs d13C mesurées sur le graphite préparé, en utilisant le spectromètre AMS. Ces valeurs (qui ne sont pas montrées) peuvent être différentes des d13C du matériel original, si du fractionnement s'est produit durant la graphitisation de l'échantillon ou lors de la mesure AMS.

Remarque:

La valeur D¹³C ci-dessus a été mesurée à une précision <0.1‰ avec un spectromètre de masse Finnigan MAT252 (IRMS).



Guillaume Labrecque, Technicien en charge

Annexe 5

Etude géoarchéologique

Etude géoarchéologique – Villedieu sur Indre

A la suite de la première campagne de prospection en 2021, l'équipe portée par F. Di Napoli a poursuivi les investigations à Villedieu sur Indre. La zone d'étude est dans un environnement humide, traversé par l'Indre. Cette rivière circule sur le territoire du Syndicat Mixte de Pays Castelroussin – Val de L'Indre qui a lui a dédié un atlas cartographique (DDT de Saône et Loire, 2016). Au niveau de la zone de prospection, la rivière a actuellement un écoulement à alternance lenticule¹, sur un substrat de graviers, présentant un colmatage sédimentaire moyen à maximal qui est facilité par la présence d'embacles², d'arbres en travers du cours d'eau ou de brèches.

L'étude présentée ci-après s'inscrit dans l'axe 1 de la campagne, s'attachant aux questions de la morphologie et dynamique de la plaine alluviale étudiée. Des sondages mécaniques profonds et des prélèvements ont été réalisés.

Cette étude géoarchéologique est organisée selon les types d'analyses appliquées. Les sédiments ont été testés à la susceptibilité magnétique sur le terrain, tandis que les prélèvements ont été traités selon les méthodes de la perte au feu (PAF), de la granulométrie laser, et de la spectrométrie de fluorescence en laboratoire.

Les laboratoires IDEES Caen et IDEES Rouen ainsi que leurs représentant.e.s sont remercié.e.s pour avoir permis l'accès au matériel ainsi que pour leur disponibilité. Un grand merci à Ph. Gardère, F. Kildea, F. Di Napoli et pour leur soutien scientifique et logistique qui ont permis de réaliser dans de bonnes conditions ce travail.

¹. Se dit d'un cours d'eau calme, voir avec des parties stagnantes ou faiblement courantes.

². Accumulation naturelle de matériaux apportés par l'eau.

Perte Au Feu - PAF

Introduction et principe

La calcination, perte au feu (PAF) ou *Loss On Ignition-LOI* en Anglais, permet d'obtenir différentes teneurs géochimiques dans l'échantillon étudié. C'est une analyse qui est thermopondérale différentielle et destructrice dont le protocole initial a été établi par Dean (1974). Bien que cet auteur indique certains paliers de chauffe avec un délai fixe dans son protocole, en pratique ces paliers de chauffe sont adaptés en fonction des expertises des laboratoires (Norme AFNOR NF EN 15169, Norme XP P 94-047, protocole du laboratoire d'analyses des sols d'Arras, protocoles appliqués dans diverses publications). Les paliers de chauffe suivis dans cette étude sont ceux appliqués par A. Giosa³.

Méthodologie et protocole

Après un premier tamisage manuel à 2 mm, le passant a été mis dans une colonne sèche de tamisage. La colonne est composée d'un premier tamis à 1 mm, puis d'un second à 200 µm. La tamiseuse électrique Retsch a fonctionné pendant 4 minutes en vibration continue. La fraction fine ayant pu passer les 200 µm a été prélevée et environ 1 gramme de cette fraction a été pesé dans un creuset en céramique.

Le premier palier de chauffe à 105° C pendant 12h (étuve) permet d'éliminer l'humidité résiduelle. Elle est calculée via la formule suivante :

$$\text{Humidité résiduelle (\%)} = (\text{Masse sédiment brut} - \text{Masse sédiment après 12h à 105°}) / (\text{Masse sédiment après 12h à 105°} - \text{Masse Creuset}) * 100$$

Le deuxième palier de chauffe à 550° C pendant 2h permet d'éliminer la matière organique (MO) qui est calculée via la formule suivante :

$$\text{MO (\%)} = (\text{Masse sédiment après 12h à 105°} - \text{Masse sédiment après 2h à 550°}) / (\text{Masse sédiment après 12h à 105°} - \text{Masse Creuset}) * 100$$

³. Docteur en archéologie, thèse (2020) intitulée : *Les agrosystèmes antiques du Châtillonnais : approche archéopédologique de la mémoire des forêts dans les parcelles reconnues par télédétection LiDAR*.
Paliers de chauffe suivis pour faciliter la comparaison entre nos travaux.

Le troisième palier de chauffe à 925° C pendant 4h permet d'éliminer le carbone et les carbonates de calcium. Ils peuvent être exprimés de la manière suivante :

$$\text{CO}_2 (\%) = (\text{Masse sédiment après 2h à } 550^\circ - \text{Masse sédiment après 4h à } 925^\circ) / (\text{Masse sédiment après 12h à } 105^\circ - \text{Masse Creuset}) * 100$$

$$\text{CaCO}_3 (\%) = \text{CO}_2 * 2,27$$

Résultats - Lecture des graphiques obtenus

Les graphiques (**Fig 1 et Fig 2**) regroupent les résultats obtenus par PAF sur les échantillons de la colonne stratigraphique (Sd3) et ceux obtenus par PAF sur les échantillons du deuxième corpus.

Le pourcentage d'humidité reste dans un intervalle stable (4-8%) entre l'échantillon I et XII (US 1002) ; puis, à partir de l'échantillon XIV (US 1003), la teneur en humidité augmente jusqu'à atteindre 10,40% au niveau de l'échantillon XVIII (US 1005). Ainsi, les US 1003 et la partie supérieure de l'US 1005 sont les plus fortement chargées en humidité résiduelle. A partir de l'échantillon XVIII (US 1005), les teneurs d'humidité décroissent globalement jusqu'au dernier échantillon, même si l'échantillon XXIII (US 1006) marque un pic.

L'US 1002 redox présente des traits réductiques liés au très mauvais ressuyage du sol, expliquant la croissance des valeurs d'humidité résiduelle vers la base de cette US. D'autre part, les mouvements de la nappe phréatiques sont lisibles dès l'US 1002 redox qui présente des traits rédoxiques (précipitation du fer sous forme de nodules millimétriques). C'est pourquoi l'US 1003, bien qu'elle ait une macro-porosité liée à sa structure diamictique, a des pourcentages d'humidité assez hauts, dans les mêmes gammes que ceux de l'US 1005. Cette US 1005, décrite comme une argile bleu-grise compacte et massive retient davantage l'eau de la nappe phréatique et sa présence fait office de couche plus ou moins imperméable, limitant l'évacuation gravitaire de l'eau présente dans l'US 1003. L'US 1007 et surtout l'US 1006 semblent avoir le même comportement que les US 1003 et 1005 respectivement, c'est-à-dire que l'US topographiquement plus basse retiendrait davantage l'eau grâce à une texture plus argileuse, bien que la description de terrain présente l'US 1007 comme une US argileuse. Les études de granularité ci-après montrent qu'il s'agit finalement d'une US assez sableuse. Enfin, les alluvions Fy présentent le plus faible pourcentage d'humidité. L'absence de matrice argileuse dans cette couche limite sa capacité à retenir l'eau même si topographiquement elle est toujours ennoyée dans la nappe phréatique.

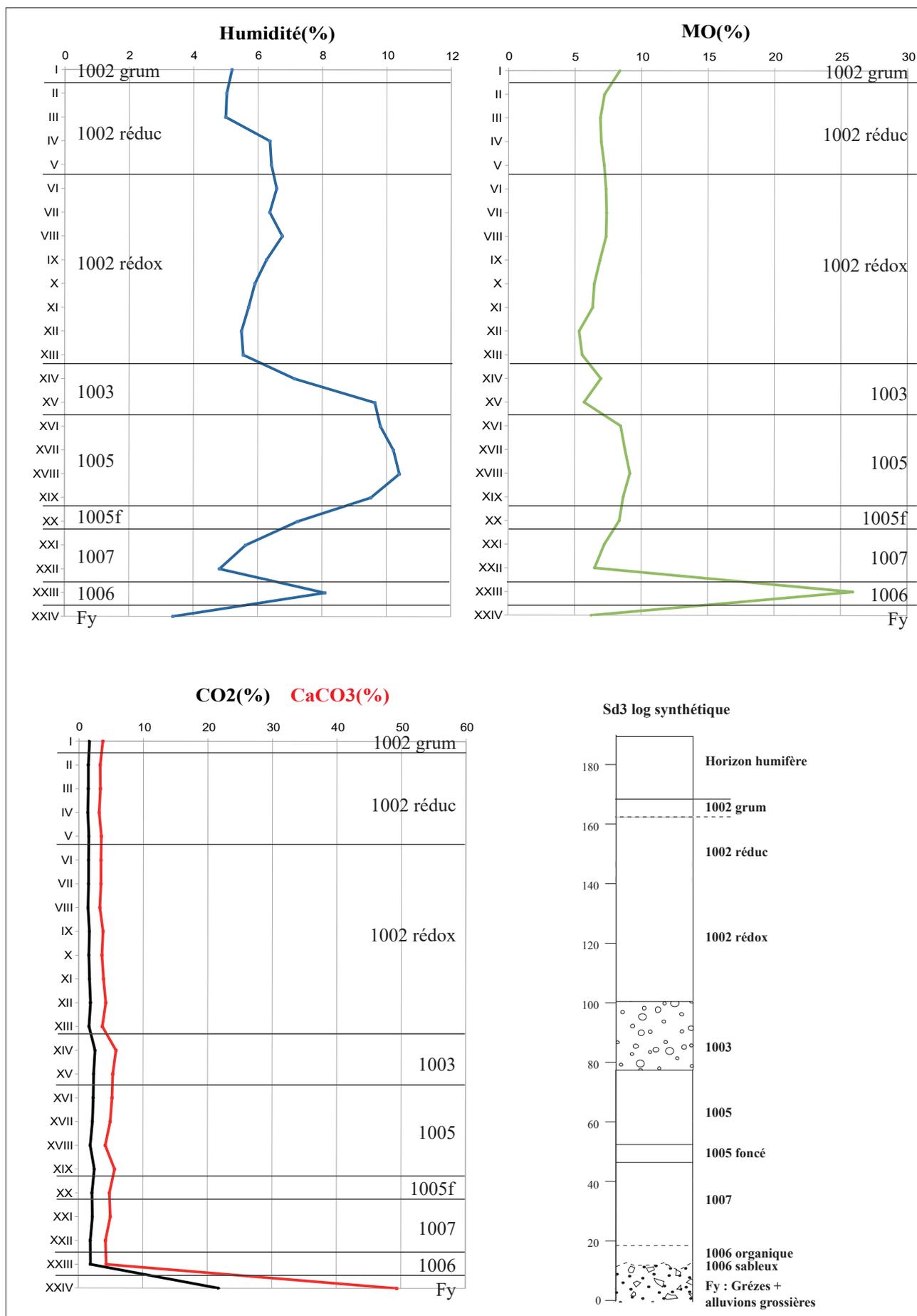
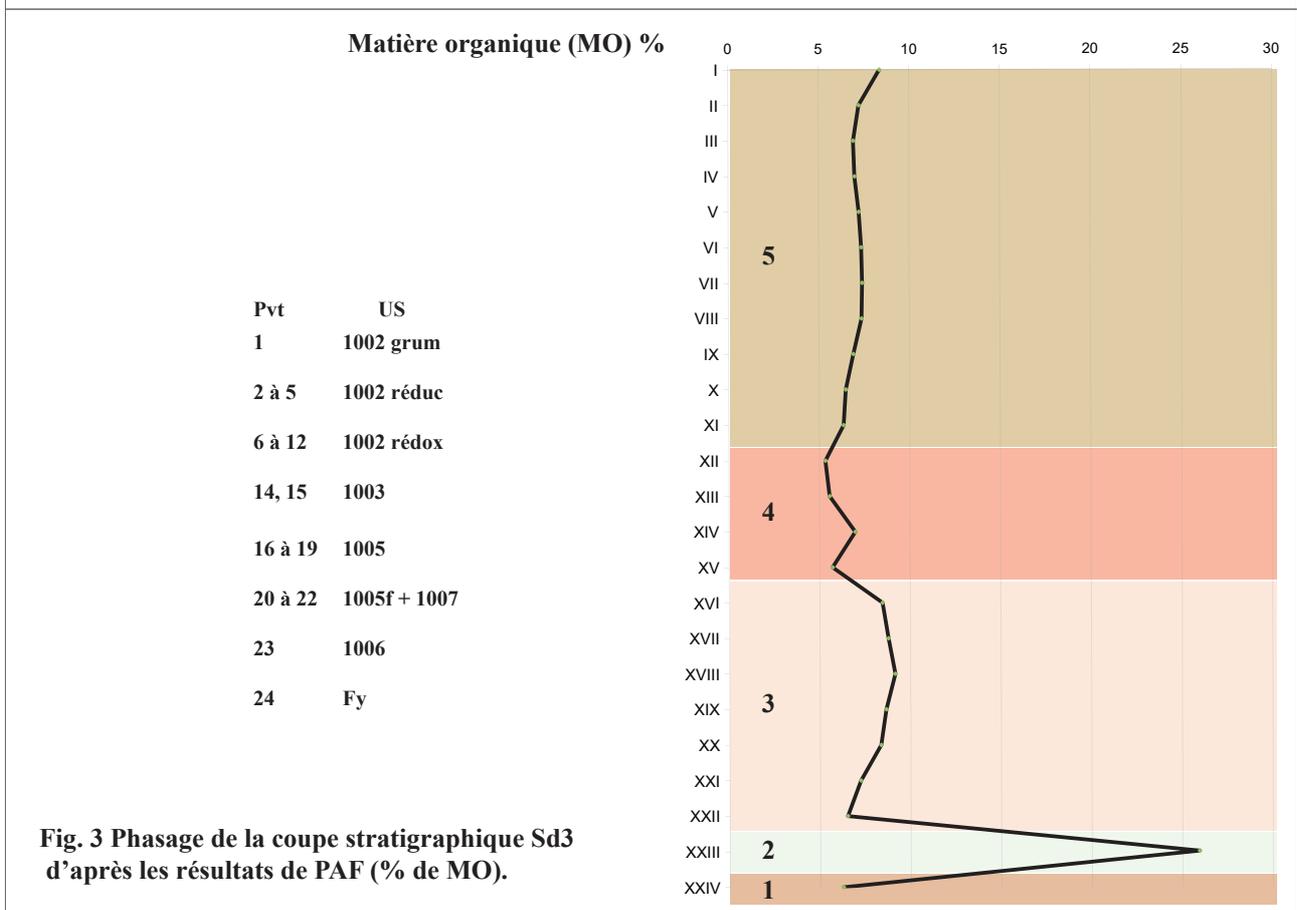
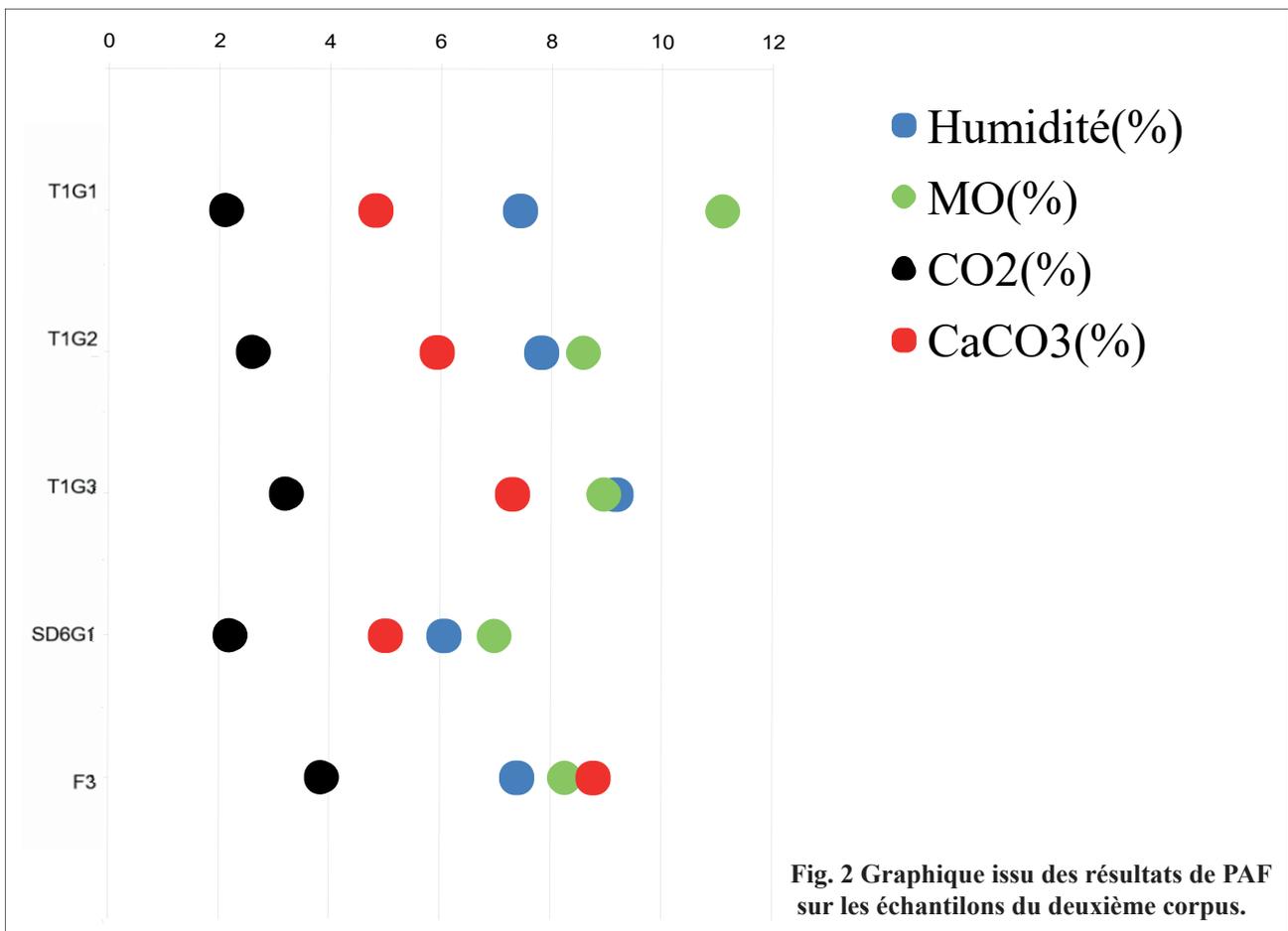


Fig. 1 Courbes de la MO, d'humidité résiduelle, de CO2 et de CaCO3 issues des résultats de PAF sur la colonne stratigraphique du sondage 3



Ainsi, même si la nappe phréatique joue un rôle certain au niveau des traits pédologiques des US, les teneurs en humidité résiduelle mesurée sont à rattacher davantage à la structure de l'US plutôt qu'à l'engorgement de chaque couche.

Le pourcentage de matière organique (MO) est stable tout le long de la séquence stratigraphique (entre 5 et 10%), à l'exception notable de l'échantillon XXIII (US 1006). Cet échantillon se distingue par sa très forte valeur de MO (cinq fois plus haute que les autres valeurs). L'explication de cet *outlier* vient de sa nature : il s'agit du seul niveau organique de la séquence, où le prélèvement a été fait dans une zone à forte concentration de macro-restes végétaux.

Les pourcentages de CO₂ et de CaCO₃ sont corrélés entre eux. La teneur en CaCO₃ (et donc de CO₂) est stable tout le long du prélèvement (entre 3 et 5%), à l'exception notable de l'échantillon XXIV (alluvions Fy) constitué majoritairement d'écailles de calcaire remaniées.

Au niveau des échantillons du tumulus, on peut remarquer que plus on descend dans la stratigraphie, plus les teneurs en CO₂, CaCO₃ et d'humidité résiduelle augmentent puisque l'on s'approche de la nappe et des alluvions Fy tandis que les valeurs de MO décroissent.

Pour le reste des échantillons de ce deuxième corpus, les valeurs de la PAF sont à prendre telles quelles, aucune tendance ne peut être dégagée sur des échantillons isolés.

Interprétation et milieux de dépôt

Les prélèvements du deuxième corpus sont trop isolés et anecdotiques pour proposer un phasage. Cependant, ce découpage par phases reste valable pour la colonne du sondage 3 (**Fig. 3**) et une interprétation est possible concernant les milieux de dépôts sédimentaires. Les taux de MO élevés peuvent être mis en relation avec des conditions de dépôt dans un environnement humide peu compétent et non perturbé tandis des valeurs variables de carbonates de calcium sont à mettre en lien avec des apports détritiques érosifs (Glais, 2017, p. 198).

Ces phases sont également construites d'après les corrélations possibles entre les courbes de PAF et les US décrites sur le terrain.

La phase 1 correspond aux alluvions Fy prélevés dans l'échantillon XXIV, elle correspond à un milieu de dépôt froid (car dépôts cryoclastiques) et compétent (43% du prélèvement est composé de clastes supérieurs à 2mm). Cette phase a une faible teneur en MO, et de forts taux de de CO₂ et de CaCO₃ du fait de la nature calcaire de ces composants.

La transition entre la phase 1 et 2 est brutale, soulignant un environnement sédimentaire tout à fait différent.

La phase 2 correspond à l'échantillon XXIII (US 1006), elle correspond à un milieu humide et très calme avec la conservation de MO au sein de laquelle les macro-restes végétaux sont retrouvés.

La transition entre la phase 2 et 3 est brusque au regard de la chute des teneurs en MO, indiquant un changement de contexte environnemental, passant d'un milieu calme à un milieu compétent.

La phase 3, qui regroupe les échantillons (XXII à XVI) des US 1007 et 1005, souligne un environnement compétent à sa base. Puis, le retour relatif à un milieu de dépôt légèrement moins compétent au cours de cette phase a permis à la MO de plus ou moins bien sédimenter, libérant des taux à la PAF plutôt stables.

La transition entre la phase 3 et la phase 4 est marquée par une chute du taux de MO de 8,4% à 5,4% environ.

La phase 4 regroupe les échantillons XV, XIV (US 1003) et XIII, XII (base de l'US 1002 redox). Cette phase correspond à un milieu à hydrodynamisme fort où la MO n'a pas le temps de sédimenter. Il pourrait s'agir d'un milieu proche (ou dans) d'un bras de l'Indre, affecté par les crues et les variations hydrologiques cycliques du fleuve (saison ?).

La transition entre la phase 4 et 5 est progressive, la distinction entre ces deux phases se fait sur la base de la grande stabilité repérée en phase 5 qui contraste avec la phase 4.

La phase 5 correspond aux échantillons XI à I (US 1002 et sol actuel). Elle se caractérise par un milieu peu compétent, qui se maintient au cours du temps et qui semble prévaloir actuellement.

Granulométrie

Introduction et principe

Les analyses granulométriques sont communes lors des études géomorphologiques. Elles visent à étudier la distribution de la taille des particules qui composent l'échantillon prélevé. La composition d'un sédiment permet d'acquérir des données concernant sa provenance, ses possibles modes de transport et les conditions environnementales de son dépôt.

Dans le cadre de cette étude un granulomètre laser Malvern MasterSizer 2000 a été utilisé. La granulométrie laser est basée d'après les propriétés de diffraction de la lumière. Le principe de cette

méthode repose sur le fait que les particules sédimentaires passent à travers un rayon laser fixe et diffractent la lumière selon un angle qui est fonction de leur taille (plus la particule est petite, plus l'angle de diffraction est grand). La lumière diffractée est recueillie par un détecteur multi-élément qui estime grâce à des formules mathématiques la taille de la particule, comprise entre 0.02 μm et 2 000 μm .

Limites, biais et corrections proposées

Chaque étude est soumise à des limites et biais. Tout d'abord, les biais classiques lors d'une étude quantitative sont ceux liés au matériel ou au protocole suivi.

L'un des principaux biais est aussi lié au granulomètre laser en lui-même. En effet, il n'existe pas de normes AFNOR pour son utilisation ou même pour préparer l'échantillon avant mesure. Chaque laboratoire possède son propre protocole ; certains détruisent la Matière Organique (MO) tandis que d'autres non. A IDEES Caen, la MO est détruite afin qu'elle ne soit pas prise en compte et mesurée comme si c'était un sable par exemple. De même, la manière de mesurer peut créer des biais. Certains laboratoires ne mesurent l'échantillon qu'une seule fois ; nous le mesurons au moins 3 fois, voire 6 dans les cas où la mesure ne se stabilise pas. Enfin, la manière de prélever l'aliquote peut influencer le résultat : si on prélève en haut (éléments fins) ou en bas de l'échantillon (éléments grossiers étant tombés au fond), les résultats seront drastiquement différents.

Du point de vue de la lecture des résultats, il faut souligner que les mesures du granulomètre laser ne se corrélaient pas de manière simple avec la Méthode de Sédimentation à la Pipette Robinson (SPM) et que les valeurs obtenues au granulomètre laser (LDM) ne peuvent pas être intégrées directement dans un tableau de texture. En effet, les rares études sur le sujet (A. Makó et al 2017, et M.-P. Bataillé (inédit)) montrent que si on compare simplement les résultats d'échantillons passés par SPM et au LDM sur le triangle de texture, les points associés au LDM se situent tous dans la partie limoneuse du triangle alors qu'en réalité les sédiments sont davantage argileux et qu'on peut distinguer une réelle différence entre eux. Ainsi, M.-P. Bataillé, au sein du laboratoire IDEES Caen a proposé de recalibrer les résultats obtenus par LDM, afin d'obtenir une tendance qui se rapproche davantage des résultats par SPM, applicables sur un triangle de texture classique.

Cette nouvelle calibration fait passer la limite des argiles de 2 à 6,86 μm et la limite des limons de 20 à 21,30 μm lorsque l'on travaille avec le granulomètre laser de IDEES Caen afin de pouvoir, si on le souhaite, les ajouter sur un triangle de texture.

Méthodologie et protocole

Les prélèvements ont été mis à sécher à l'air libre à la base INRAP de Tours. Puis, le protocole de granulométrie laser du laboratoire IDEES de Caen a été appliqué. Les échantillons ont d'abord été tamisés à sec avec une maille de 2 mm. Un sous-échantillonnage représentatif de 5g environ a été prélevé dans le passant et déposé dans un bécher auquel a été ajouté du peroxyde d'hydrogène pour destruction de la MO. Le sédiment a ensuite décanté dans son bécher et le surnageant a été éliminé. Un dispersant a été ajouté afin que les argiles ne flocculent pas et le tout a été mis dans une machine rotative pour la nuit pour une bonne homogénéisation. Le lendemain, a lieu le passage au granulomètre laser Malvern 2000 et traité avec le logiciel Mastersizer 3000.

Résultats

Lecture des graphiques et caractérisation des US

Les courbes de distribution de la taille de particules pour chaque US ont été construites, avec sur le même graphique : la courbe de pourcentage de distribution de la taille des particules (DTP) et la courbe de distribution cumulée.

Pour le sondage 3, les graphiques sont principalement construits par US (**Fig. 4 à 7**).

La description de terrain avait distingué trois sous faciès pour l'US 1002 (grum, reduc et redox) du fait d'une texture différente et de traits pédologiques entraînant une variation de couleur.

L'US 1002 grum est représentée par un seul échantillon (I). Il est constitué d'une majorité de sables, de quelques limons et de peu d'argile.

L'US 1002 reduc est représentée par quatre échantillons (II à V). L'échantillon II se distingue par sa composition plus sableuse au niveau de la courbe DTP et se rattache texturalement à l'US 1002 grum. Pour les trois autres échantillons, du fait de l'aplatissement de la courbe de distribution, la lecture se fait plutôt à partir de la courbe cumulée : à l'instar de l'US précédente, il y a peu d'argile, quelques limons et une majorité de sables.

L'US 1002 redox est représentée par huit échantillons (VI à XIII). L'échantillon VI se distingue par sa composition plus sableuse au niveau de la courbe DTP et est rattaché texturalement à l'US 1002 reduc. Pour les cinq autres échantillons, du fait de l'aplatissement de la courbe de distribution, la lecture se fait plutôt à partir de la courbe cumulée : à l'instar de l'US précédente, il y a peu d'argile mais davantage de limons. Ces derniers ne sont pas répartis de manière identique entre les échantillons sans qu'une tendance ne soit perçue.

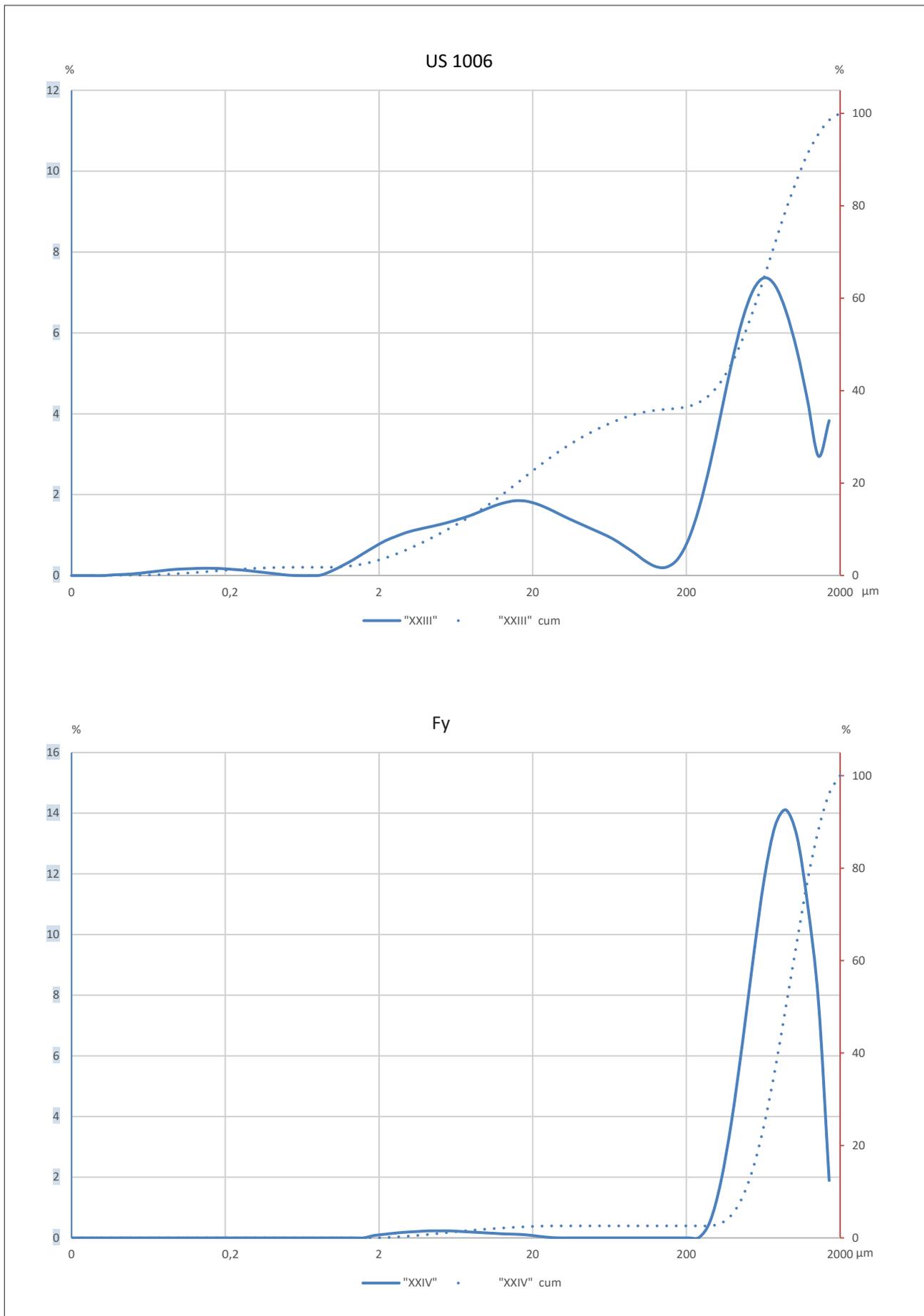


Fig. 4 Distribution de la taille des particules. Abscisse en μm et ordonnées en % (à droite, % cumulés)

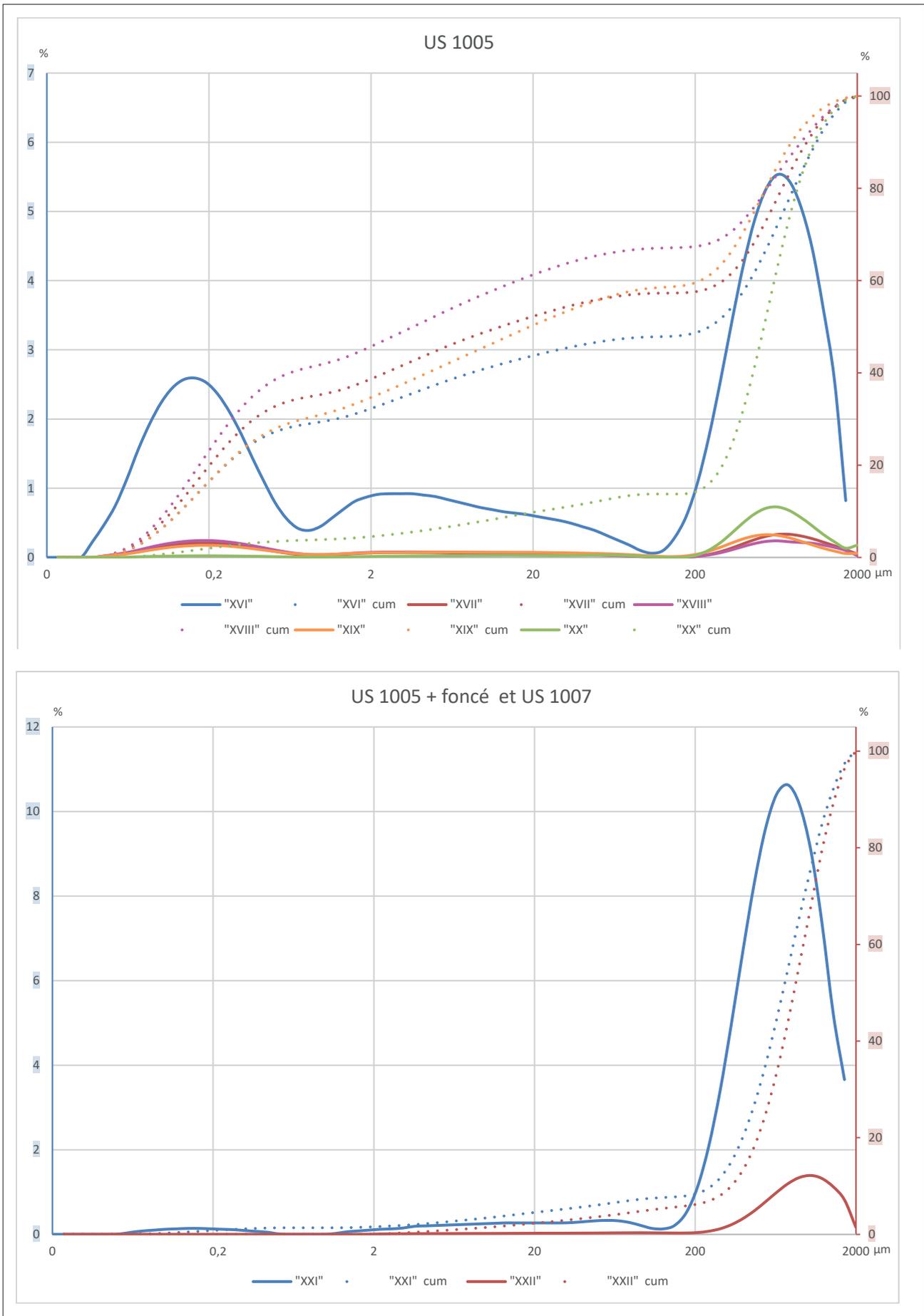


Fig. 5 Distribution de la taille des particules. Abscisse en µm et ordonnées en % (à droite, % cumulés)

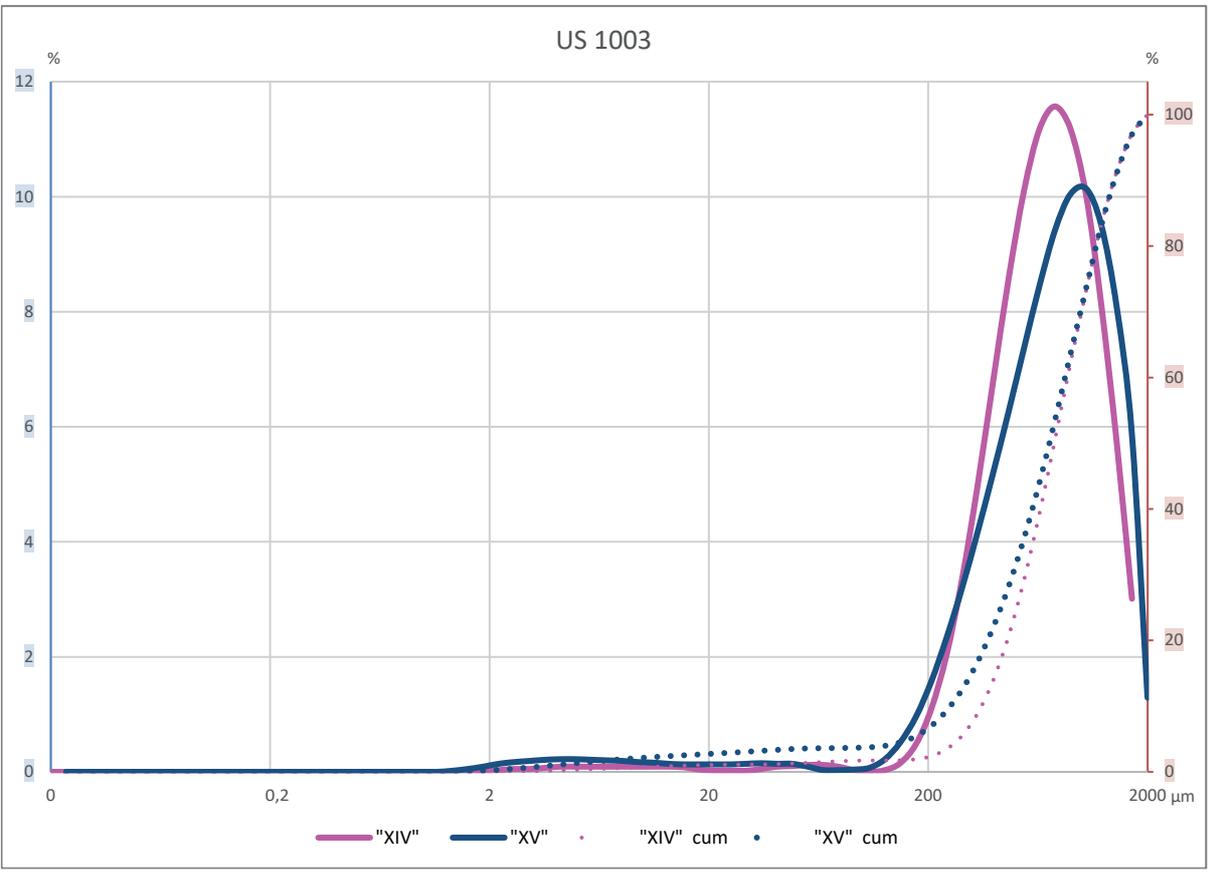
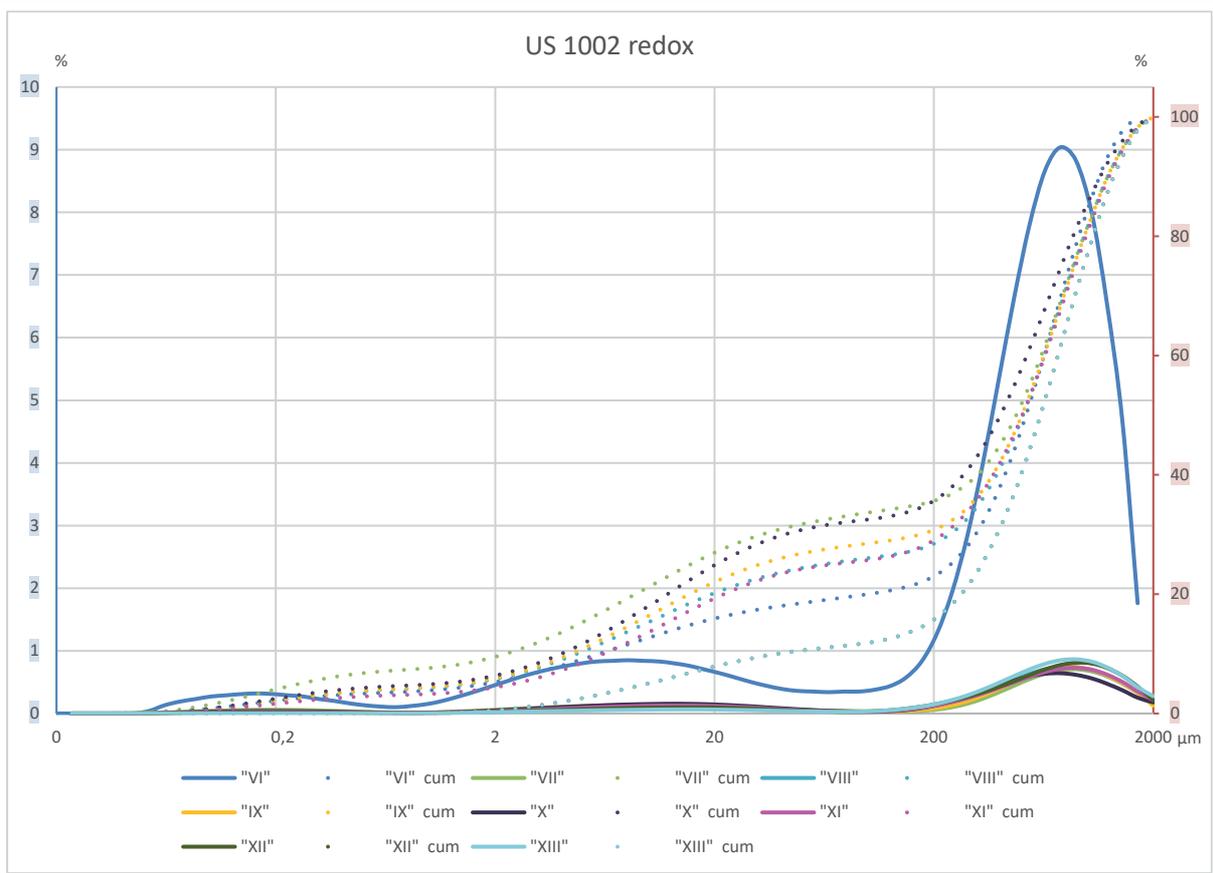


Fig. 6 Distribution de la taille des particules. Abscisse en μm et ordonnées en % (à droite, % cumulés)

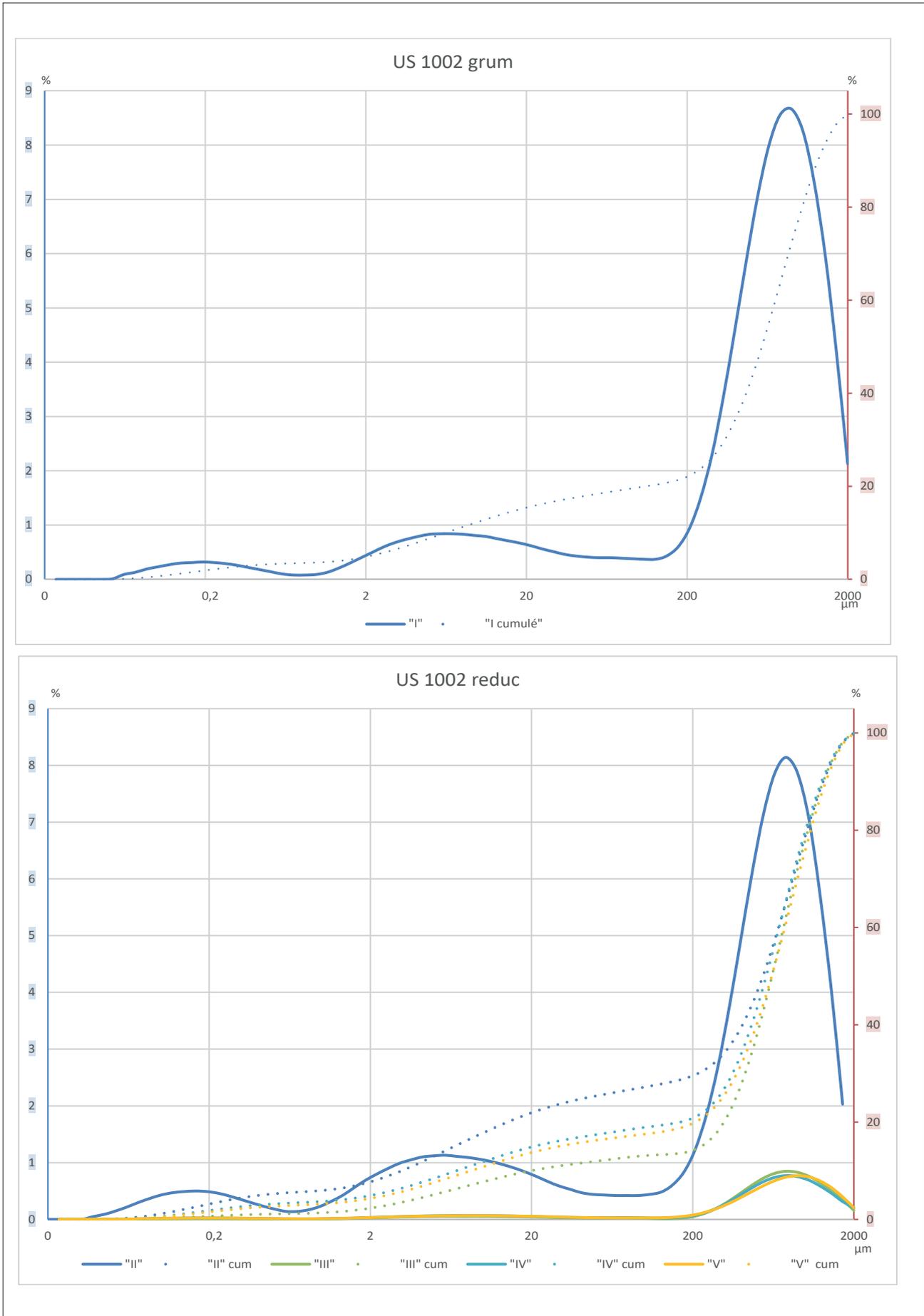


Fig. 7 Distribution de la taille des particules. Abscisse en μm et ordonnées en % (à droite, % cumulés)

Ces graphiques sont cohérents avec la distinction en trois sous-faciès pour l'US 1002 puisque l'US 1002 redox est plus limoneuse que les autres bien que ces variations soient assez faibles. Les sous-faciès n'ont qu'une faible réalité granulométrique et sont plutôt à rapprocher des traits pédologiques liés à l'ennoisement des US.

Ensuite, l'US 1003 est représentée par deux échantillons (XIV et XV). Les sables sont très dominants et constituent quasiment chaque échantillon à eux seuls.

L'US 1005 est représentée par cinq échantillons (XVI à XX). L'échantillon XVI se distingue par une courbe DTP bimodale, entre argiles et sables. Pour les quatre autres échantillons, du fait de l'aplatissement de la courbe de distribution, la lecture se fait plutôt à partir de la courbe cumulée : à l'inverse de l'US précédente, il y a davantage d'argiles et de limons. L'allure de ces courbes est comparable et la fraction de limon varie entre 43 et 62% à 20 μ m (pour les échantillons XVI à XIX). L'augmentation de sables dans l'échantillon XX marque la transition vers l'US suivante.

L'US 1005 + foncé et l'US 1007 sont représentées par deux échantillons (XXI et XXII). Bien que l'échantillon XXI semble se détacher au niveau de la courbe DTP, les courbes cumulées montrent que dans les deux cas ces US sont définies par une large part de sables.

L'US 1006 est représentée par un seul échantillon (XXIII). On note une majorité de limons, peu d'argiles et quelques sables.

Les alluvions Fy sont représentés par l'échantillon XXIV qui ne sont constitués que de sables pour leur fraction ≤ 2 mm.

Les échantillons du deuxième corpus sont regroupés ensemble (**Fig. 8**)

Pour le tumulus testé en juin 2022, les trois prélèvements effectués montrent que plus on descend dans la stratigraphie, plus les prélèvements sont limono-argileux.

Pour terminer, les deux échantillons qui composent le graphique « Divers » :

L'échantillon SD6G1 a été prélevé à proximité du prélèvement OSL donc il présente comme attendu une large part de sables.

L'échantillon F3 a été prélevé dans la Fosse F3 et se rapproche au niveau de sa granulométrie de l'US 1002, comme pressenti sur le terrain.

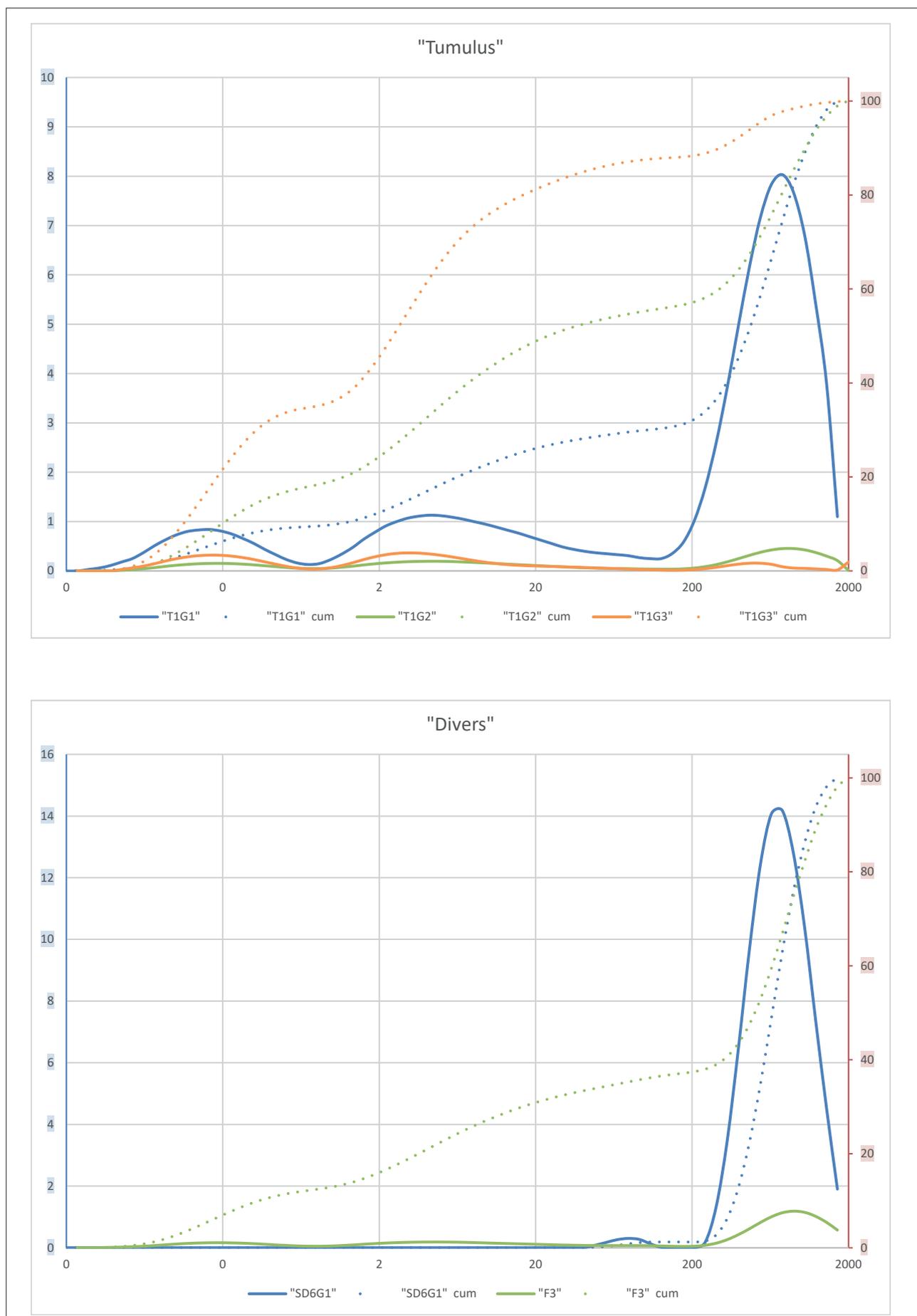


Fig. 8 Distribution de la taille des particules. Abscisse en μm et ordonnées en % (à droite, % cumulés)

Diagrammes ternaires

La texture granulométrique des échantillons est communément représentée dans des diagrammes ternaires avec, sur chaque segment, le pourcentage d'argiles, de sables et de limons. L'objectif de ces diagrammes ternaires est de pouvoir représenter tous les échantillons en une seule figure, à la différence des graphiques présentés avant (**Fig. 4 à 8**). Puis, il s'agit de dessiner des enveloppes interprétatives qui englobent les échantillons avec des textures comparables. Ces enveloppes permettent de tester la validité des US décrites sur le terrain en vérifiant si tous les échantillons qui composent chaque US sont ensemble ou pas.

Le diagramme ternaire du sondage 3 (**Fig. 9**) met en lumière que tous les échantillons se caractérisent par une faible proportion de limon (<20%). Pour simplifier la lecture, les étiquettes des échantillons en chiffre romain ont été converties en chiffres arabes.

L'enveloppe bleue se caractérise par une forte proportion d'argiles et peu de sables. Cette enveloppe inclue les échantillons 16 à 19, appartenant à l'US 1005.

L'enveloppe grise est caractérisée par une très forte proportion de sables (plus de 90%), au détriment des autres tailles de particules. Elle regroupe les échantillons 14 et 15 (US 1003), 21 et 22 (US 1007) et l'échantillon 24 des alluvions Fy.

Les enveloppes verte et orange sont texturalement proches avec une majorité de sables (plus de 70%) et quelques limons principalement. La distinction entre ces deux enveloppes tient au fait que la verte contient davantage de limons.

L'enveloppe verte regroupe les échantillons 6 à 13 (US 1002 redox) et l'échantillon 23 (US 1006).

L'enveloppe orange regroupe les échantillons 1 (US 1002 grum), 2 à 5 (1002 reduc) et l'échantillon 20 (US 1005 + foncé).

Le diagramme ternaire du deuxième corpus (**Fig. 10**) regroupe les trois échantillons du tumulus, celui de la fosse F3 et du sondage 6.

L'échantillon SD6G1 est entièrement constitué de sables, il est donc inclus dans l'enveloppe grise.

L'échantillon F3 est composé à plus de 80% de sables et 10% de limon. Il s'approche de l'enveloppe orange et s'apparente donc de l'US 1002 redox comme vu dans la partie précédente ainsi que sur le terrain.

L'échantillon T1G1 est composé à plus de 70% de sables et 10% de limon. Il s'approche bien de l'enveloppe orange et s'apparente donc de l'US 1002 redox.

L'échantillon T1G2 est composé d'une majorité d'argiles, de quelques sables et de peu de limons. Il s'approche bien de l'enveloppe bleue dessinée auparavant et s'apparente à l'US 1005 du point de vue de sa granularité.

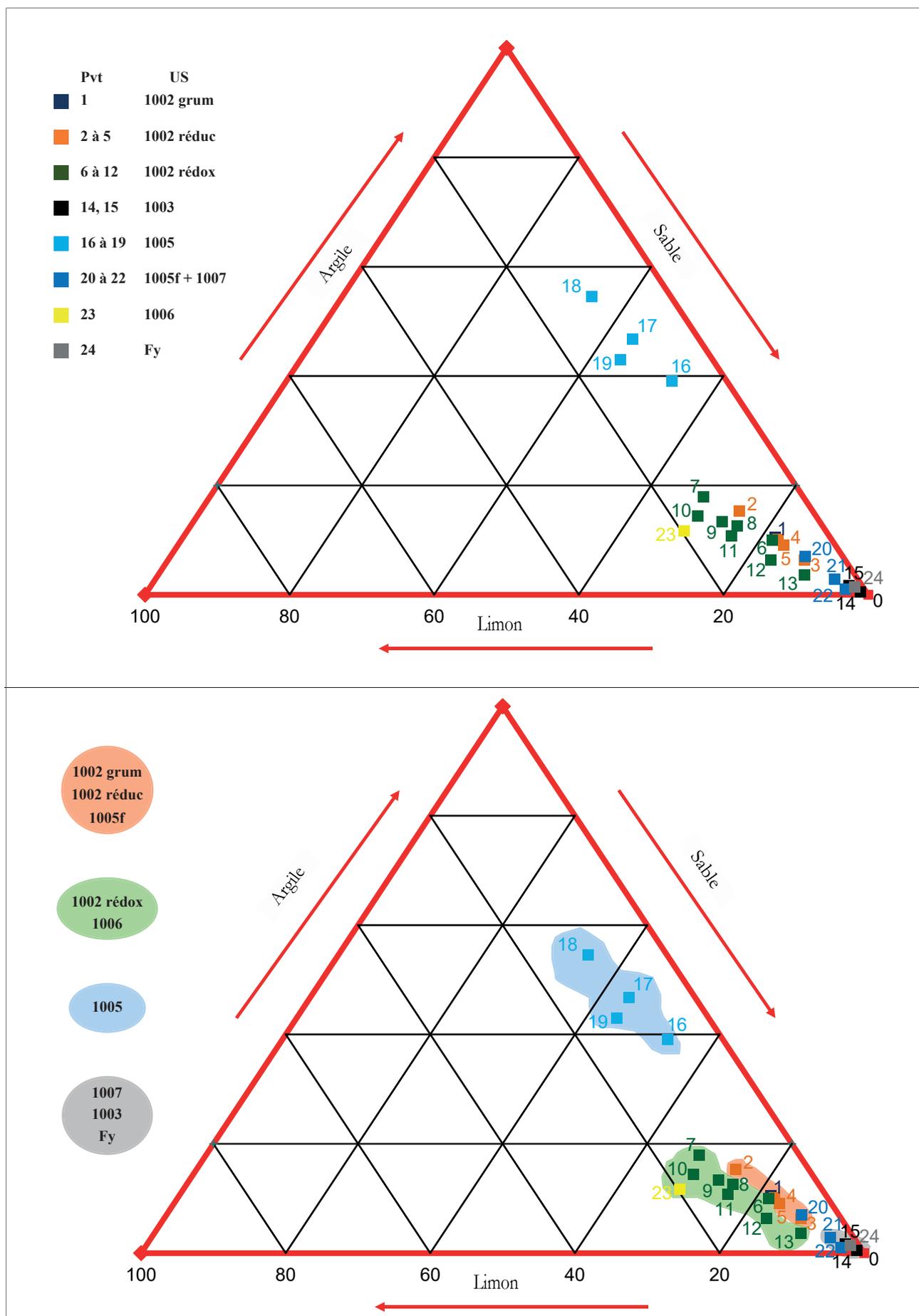


Fig. 9 Diagramme ternaire de la distribution de la taille de particules des échantillons de la colonne Sd3 avec des enveloppes de similarité.

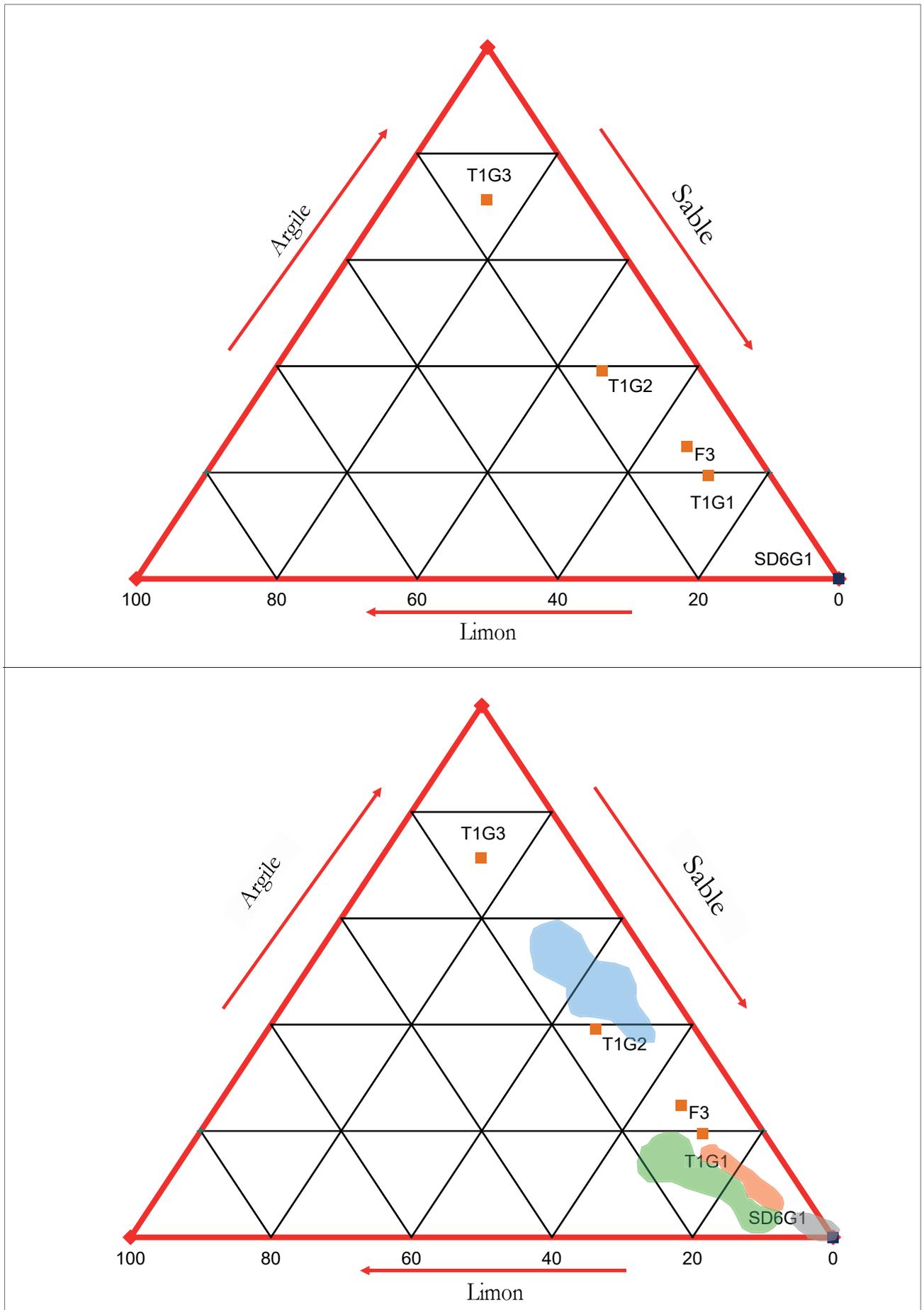


Fig. 10 Diagramme ternaire de la distribution de la taille de particules des échantillons du deuxième corpus avec des enveloppes de similarité.

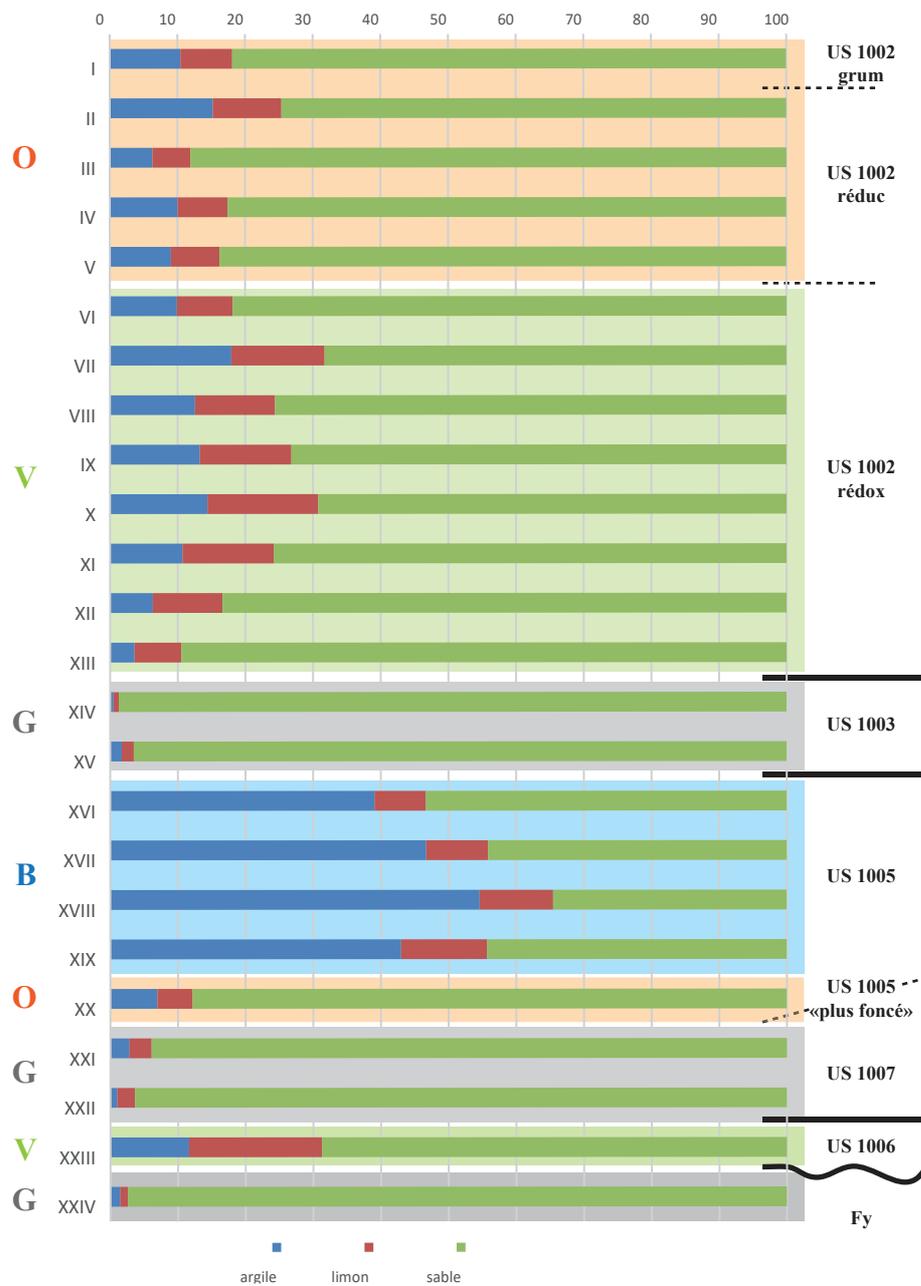


Fig. 11 Phasage granulométrique de la colonne stratigraphique Sd3.

L'échantillon T1G3 est composé de plus de 70% d'argiles, de quelques limons et de peu de sables. Cet échantillon ne s'approche d'une enveloppe dessinée auparavant. Il se distingue vraiment par sa granularité très fine.

La figure **Fig. 11** est une autre façon de représenter la texture des échantillons du sondage 3. Cette représentation en histogramme permet de préciser la position stratigraphique relative de chaque échantillon tout en y ajoutant les enveloppes interprétatives dessinées précédemment.

Cet histogramme met en lumière les mêmes regroupements vus dans le diagramme ternaire et permet de vérifier que l'enveloppe B ne concerne que l'US 1005 au contraire des autres enveloppes, qui regroupent des US différentes :

Enveloppe G : US 1003, US 1007 et alluvions Fy

Enveloppe V : US 1006 et US 1002 redox

Enveloppe O : US 1005 plus foncé (transition vers 1007), US 1002 redox et US 1002 grum.

On a donc à faire à des milieux de dépôts qui alternent, entre période à fort hydrodynamisme et faible hydrodynamisme.

Diagramme de Hjulström

La première étape de caractérisation de la distribution de la taille des particules de nos sédiments étant réalisée, il convient maintenant de s'intéresser aux conditions de transport et de dépôt de ces échantillons.

Hjulström (1935) a proposé le premier graphique quantitatif (**Fig. 12**) qui permet de caractériser la vitesse nécessaire pour qu'à une certaine taille de particule, celle-ci puisse être érodée, transportée ou déposée. Un tel graphique décrit ainsi les seuils d'érosion et de dépôt de particules dans les rivières. Ce diagramme a ensuite été précisé au fil du temps (**Fig. 13**). Sur le conseil de A. Gonnet⁴, le choix a été fait de représenter l'ensemble de la fraction $\leq 2\text{mm}$ de chaque échantillon par leur D95, afin de pouvoir comparer nos travaux respectifs (**Fig. 14**).

Sur ce diagramme, seul l'échantillon T1G3 s'individualise clairement. Celui-ci est érodé pour des vitesses à partir de 25cm/s et sédimente à partir du moment où le débit diminue au-delà de 3cm/s. Le reste des sédiments est érodé à partir de 35-50 cm/s et sédimente sous 5-9cm/s. Cela signifie que depuis le dépôt de l'ensemble de ces sédiments, le courant de l'Indre n'a jamais atteint des vitesses supérieures à 10cm/s (= 0,1 m/s).

⁴. Docteur en géographie, thèse (2017) intitulée : *Du plateau au fond de vallée : apport de l'étude de trois sites archéologiques à la compréhension des dynamiques géomorphologiques holocènes en Normandie*

Fig. 12 Diagramme de Hjulström.

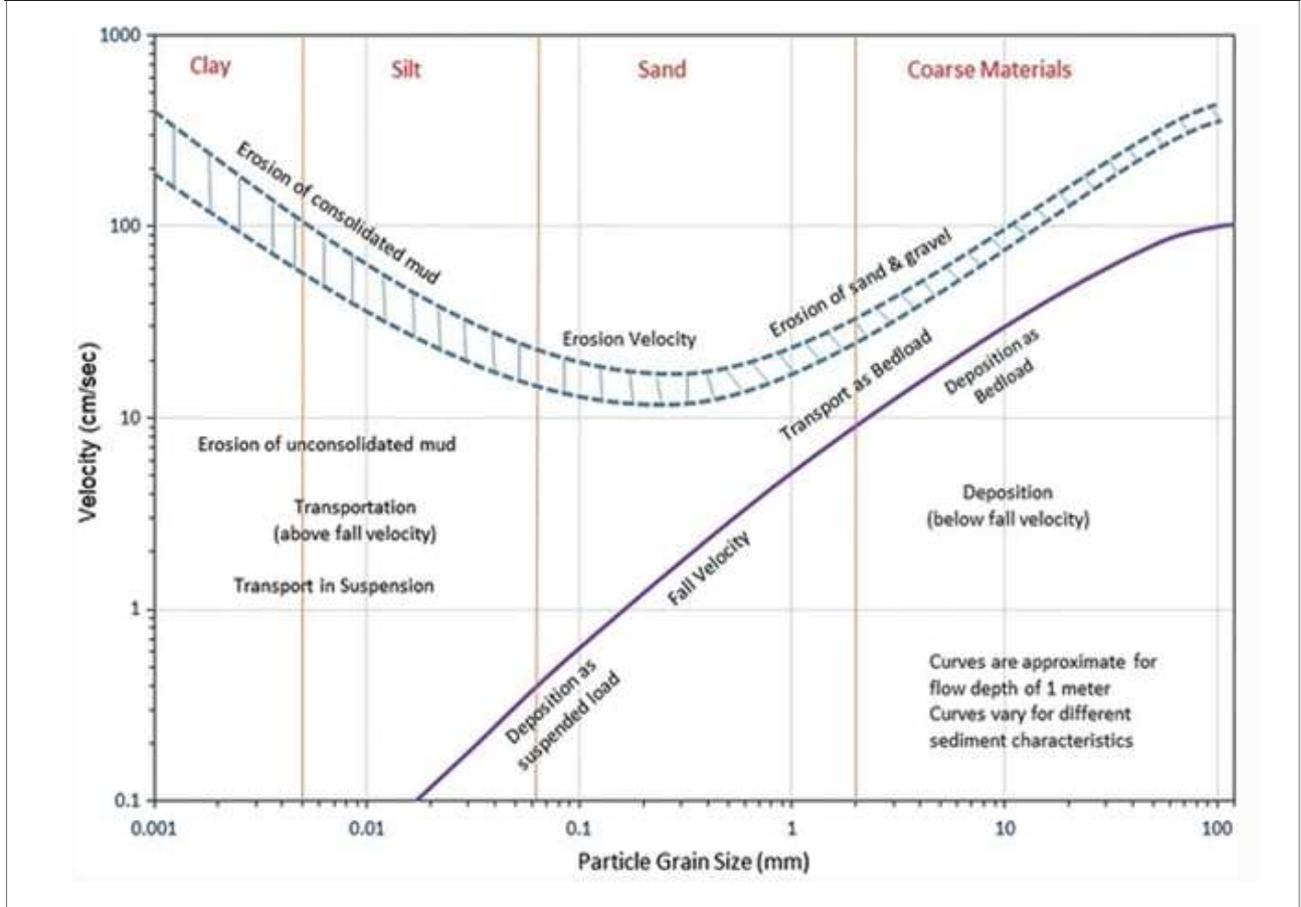
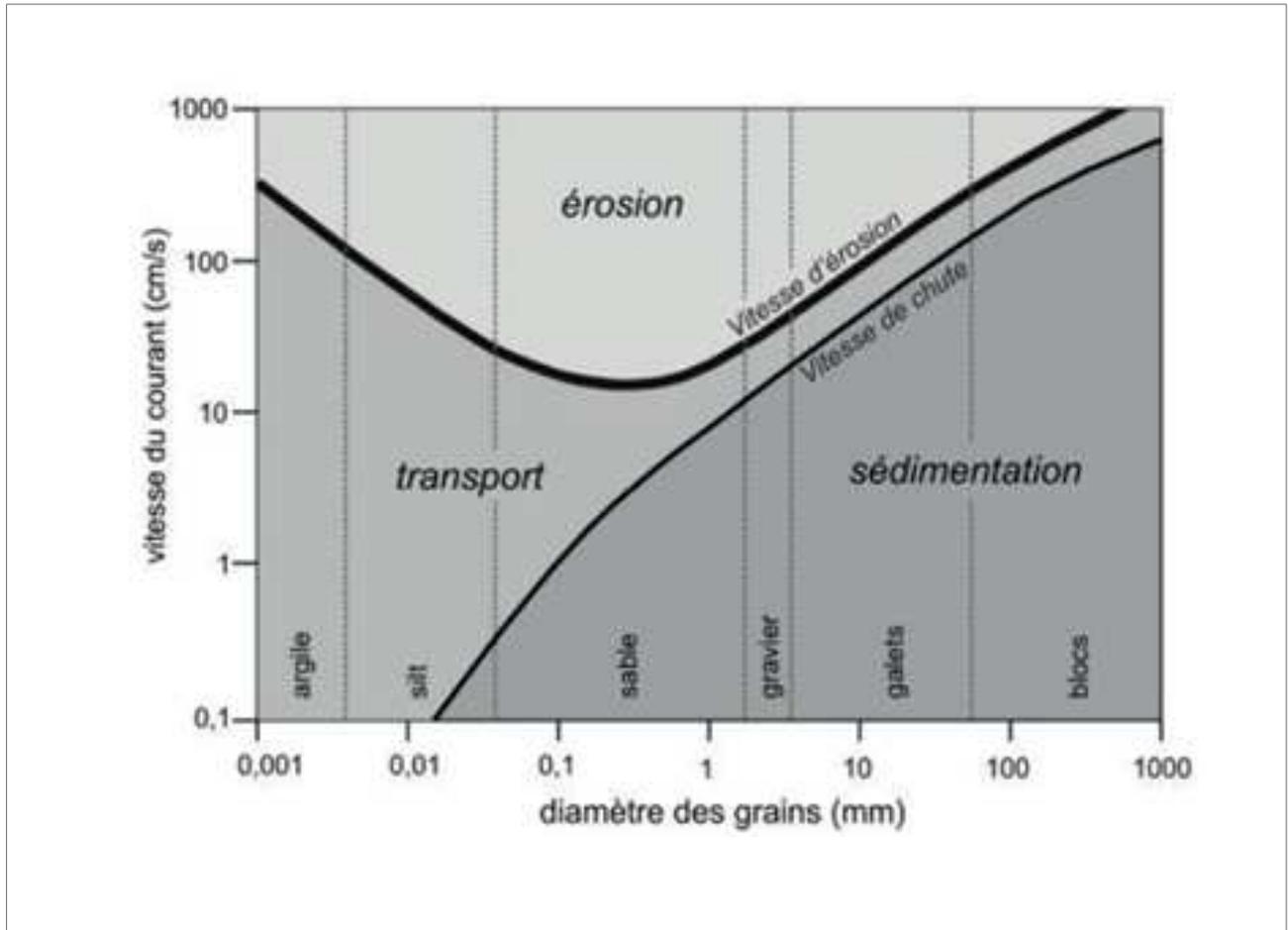


Fig. 13 Diagramme de Hjulström modifié, d'après Keylock 2004.

Fig. 14 Diagramme de Hjulström des prélèvements.

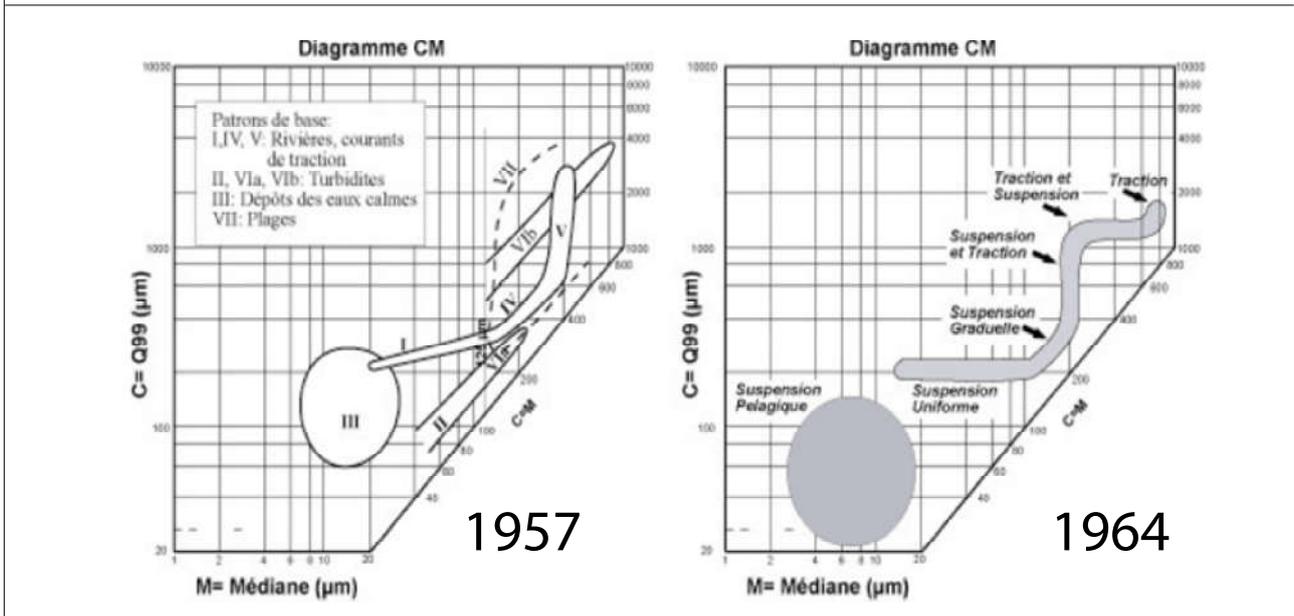
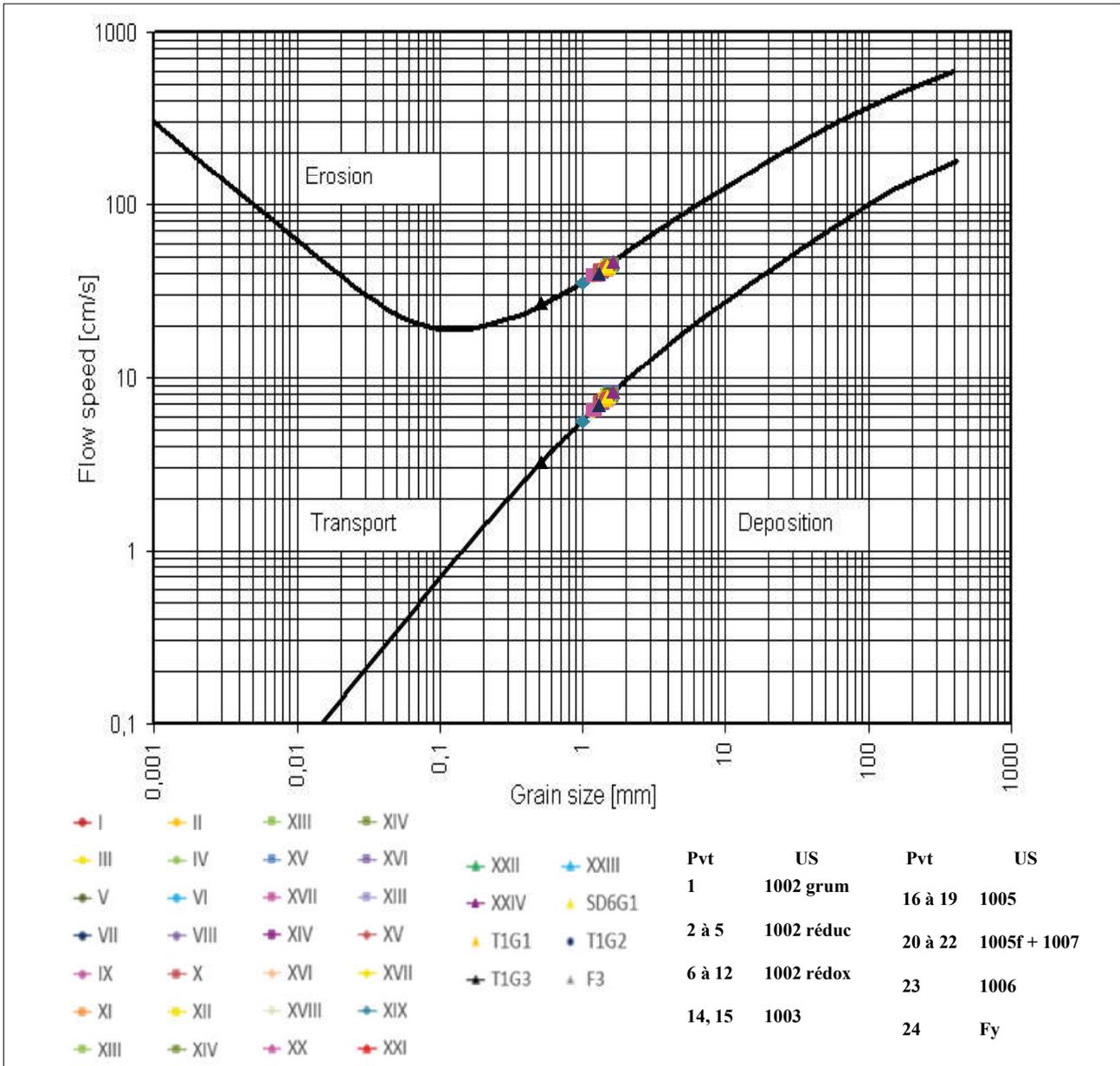


Fig. 15 Evolution des images CM, d'après R. Passega 1957, 1964.

Cependant le diagramme de Hjulström est soumis à de nombreux biais car la taille de la colonne d'eau n'est pas prise en compte, de même que les questions liées à l'accélération ou le ralentissement du débit. Les résultats présentés au-dessus sont donc donnés à titre indicatif, il convient de les manier avec prudence car ce diagramme de Hjulström est construit seulement pour la fraction $\leq 2\text{mm}$ des échantillons prélevés ; or les alluvions Fy (échantillon XXIV) sont constitués de clastes assez gros jusqu'à 5cm par exemple.

Image CM – diagramme de Passega

Bien que la question de l'activité d'une particule détritique ait été en partie vue dans le diagramme de Hjulström, il convient de préciser son mode de transport afin de pouvoir distinguer différents environnements sédimentaires. Passega (1957) propose un premier diagramme qui décrit les modalités de dépôts des sédiments du Mississippi. En effet, à partir de données empiriques récoltées sur le terrain, il a associé en fonction de la taille des sédiments, les possibles formes retrouvées sur le terrain.

Ce graphique a ensuite été largement revu, d'abord par Passega en 1964 (**Fig. 15**) puis par d'autres auteurs au fil des articles (Peiry & Bravard 1999 ; Mycielska & Ludwikowska 2011 ; Salomon 2013). Etant donné que pour chaque article il y a quasiment un diagramme de Passega créé, le choix a été fait de ne pas créer de nouveau graphique mais plutôt d'appliquer les données des échantillons au graphique de Passega 1964.

Le diagramme de Passega, ou image CM est construite avec en abscisse la médiane ($D_{50} = M$) de l'échantillon tandis qu'en ordonnée on retrouve le percentile le plus grossier ($D_{99} = C$), dans un graphique logarithmique. La médiane permet une meilleure représentation de l'échantillon tandis que le percentile le plus grossier représente la Compétence (C) du courant à transporter le sédiment (Passega, 1957). D'autre part, plus les sédiments sont proches de la droite $C=M$, mieux ils sont triés.

La première image CM obtenue sans traitement (**Fig. 16**) illustre la concentration des échantillons dans la partie supérieure du graphique, rendant leur lecture quasiment impossible. Une seconde image CM (**Fig. 17**) avec une dilatation des ordonnées apporte de la clarté et facilite la lecture. Cette nouvelle image permet d'individualiser des groupes d'échantillons au sein d'un nuage qui était initialement très tassé. Afin de pouvoir discuter des conditions environnementales de dépôts, les échantillons ont ensuite été ajoutés à la trame Passega de 1964 (**Fig. 18**).

En premier lieu, les échantillons des deux corpus ne s'inscrivent pas dans les enveloppes du modèle. Ce problème tient d'abord au fait de l'historique de la création du diagramme dans des conditions environnementales très différentes de la moyenne vallée de l'Indre. Mais les points représentant les

Fig. 16 Image CM des échantillons prélevés, résolution faible.

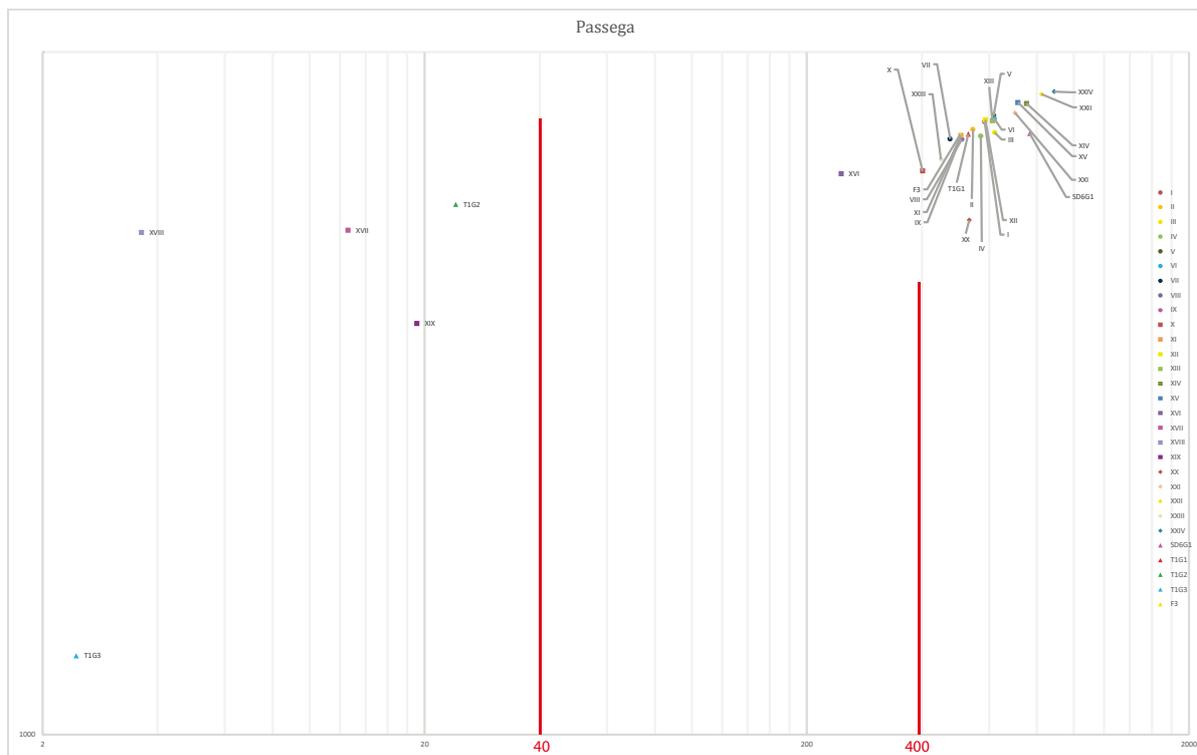
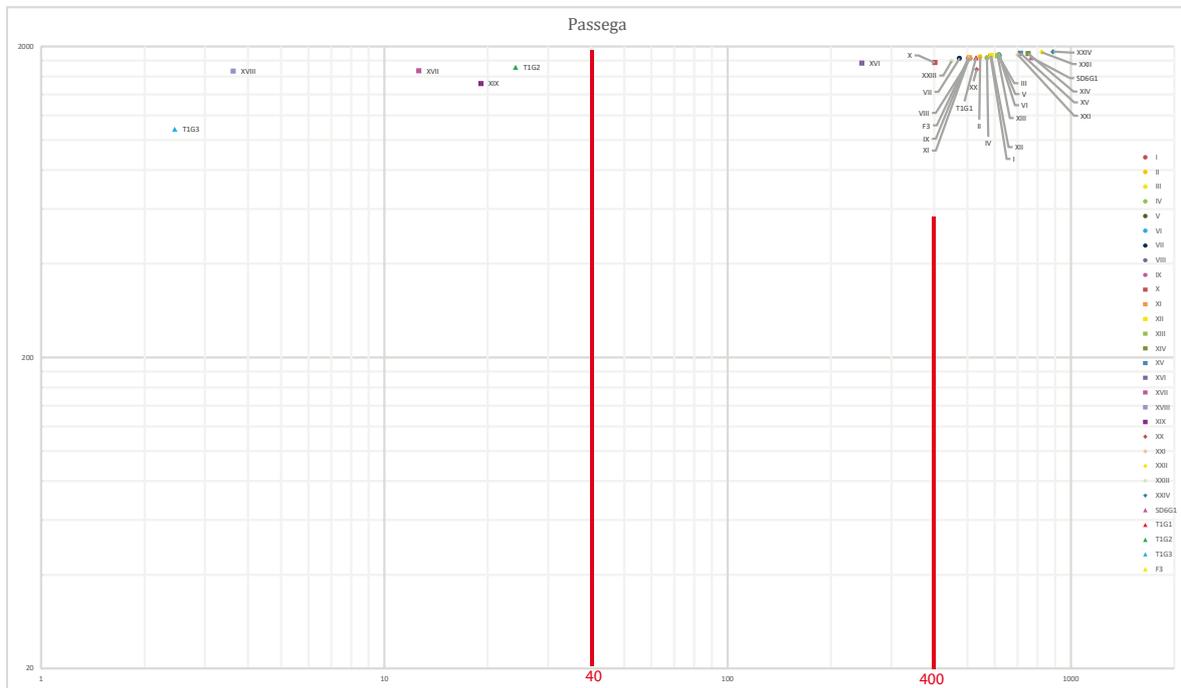


Fig. 17 Image CM des échantillons prélevés, bonne résolution.

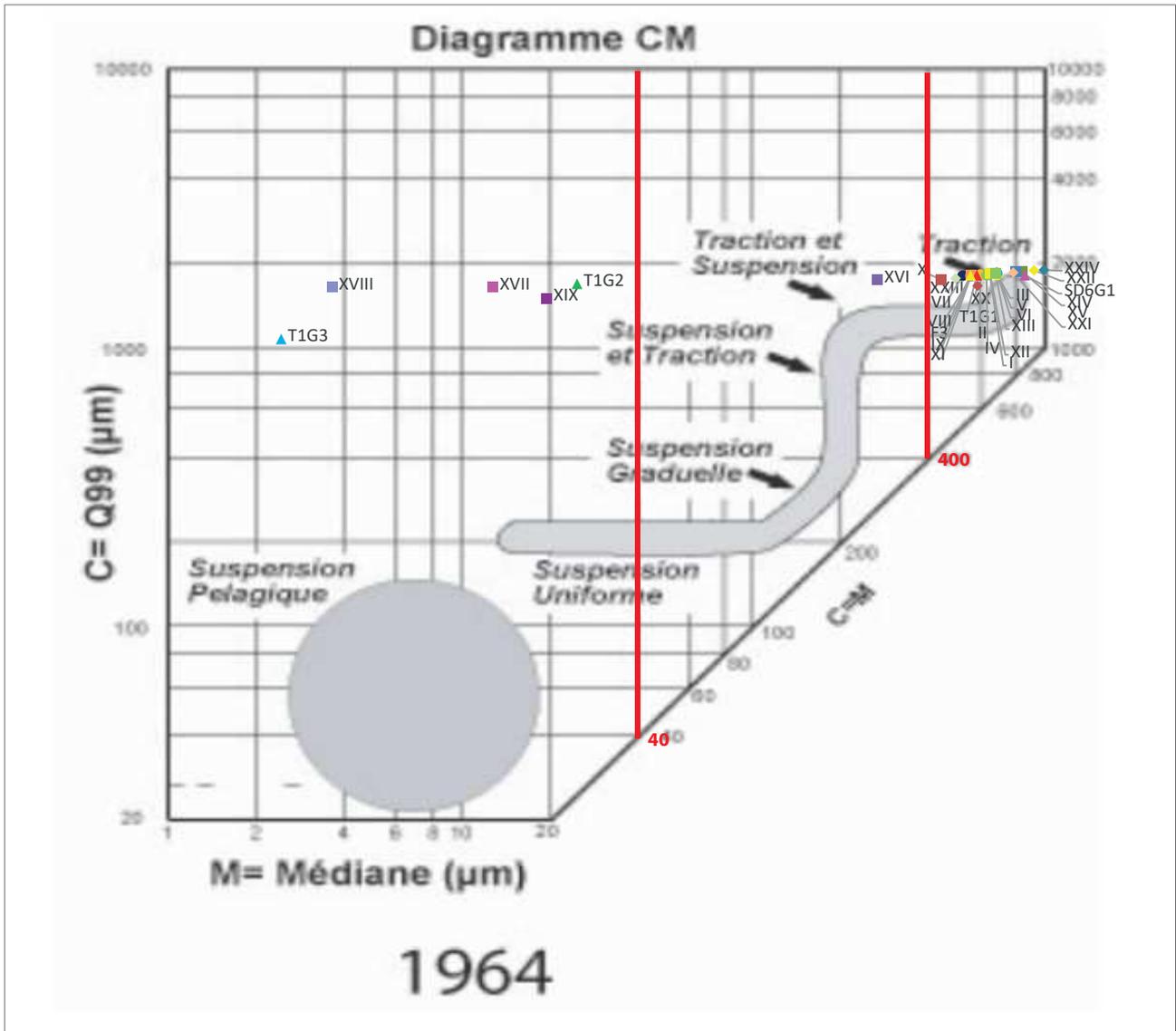


Fig. 18 Image CM des échantillons prélevés appliquée à la trame du diagramme de Passega 1964.

échantillons sont quand même dans une position bien plus haute que les enveloppes prévues. La grossièreté des échantillons est sans doute surestimée du fait de la faible proportion de sables intrusifs : les échantillons devraient être situés plus bas et plus à droite et s'approcheraient ainsi mieux du modèle prévu.

Les échantillons situés sur la partie droite du graphique (23 échantillons), à partir de $M > 400\mu\text{m}$, s'apparentent à un environnement proche d'un mécanisme de traction dans le lit de l'Indre.

Bien que proche de ce nuage, l'échantillon XVI (partie supérieure de l'US 1005) se détache du groupe, laissant sous-entendre que la part de la traction dans son environnement de dépôt serait légèrement moindre par rapport au reste du groupe.

Appartenant à l'US 1005, les échantillons XVII à XIX s'individualisent par leur granulométrie plus fine, indiquant un milieu dépositionnel soumis à des écoulements peu compétents.

Le cas des échantillons T1G2 et T1G3 du tumulus est peu différent des échantillons précédemment décrits, s'inscrivant dans un milieu dépositionnel soumis à des écoulements peu compétents.

Synthèse des analyses granulométriques

Les échantillons du sondage 3 sont replacés dans leur position stratigraphique grâce à la représentation des textures via un histogramme dans la perspective d'une vision globale. Cet histogramme (**Fig. 19**) propose un nouveau découpage synthétique en 3 phases, sur la base des pics, seuils et des variations brusques des textures. Ce phasage n'est pas délimité par des évolutions progressives, ces dernières sont donc regroupées au sein de la même phase (par exemple, la délimitation des enveloppes O, V et G en partie supérieure du graphique (**Fig. 11**) sont regroupées au sein d'une même phase dans le nouveau graphique (**Fig. 19**).

La phase 1 correspond à des sédiments grossiers, composés à plus de 80% de sables. Elle s'apparente à un milieu à hydrodynamisme élevé : les valeurs indicatives du diagramme de Hjulström soulignent que les courants nécessaires de transport pour la fraction $\leq 2\text{mm}$ sont entre 35 et 7cm/s. Compte tenu de la forte proportion de graviers et galets $\geq 2\text{mm}$, cette estimation correspond à une vitesse minimale requise pour la traction des clastes de cette phase. Cette phase correspond donc au fonctionnement d'un chenal à hydrodynamisme changeant, probablement fort plutôt de l'ordre de 35cm/s. L'échantillon XXIII apparaît comme une incursion qui a été intégré dans la phase 1.

La phase 2 correspond à des échantillons très fins, composés à plus de 40% d'argiles. Cette phase s'approche d'un contexte sédimentaire peu compétent, sein duquel les argiles ont pu sédimenter

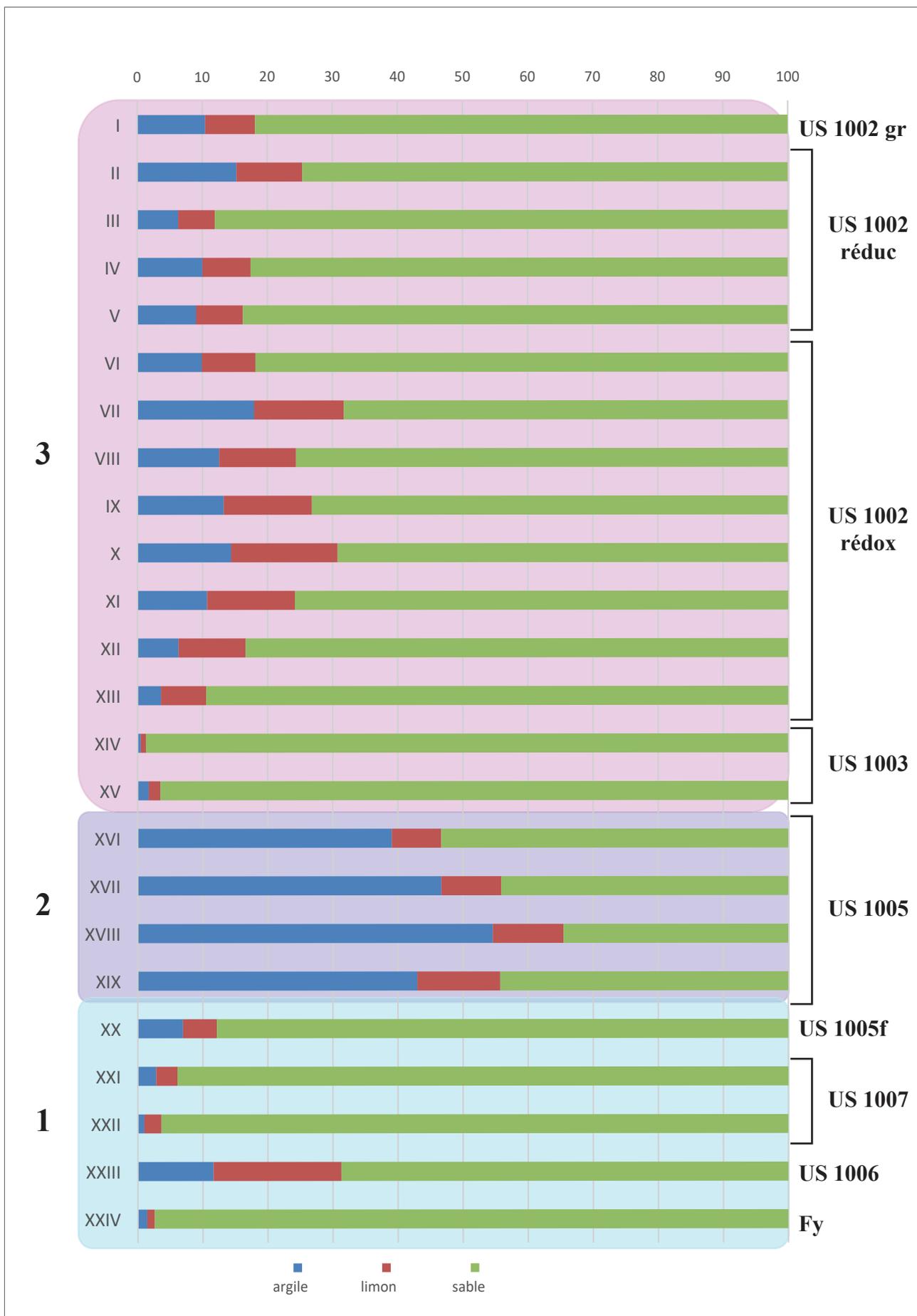


Fig. 19 Phasage synthétique granulométrique de la colonne stratigraphique Sd3.

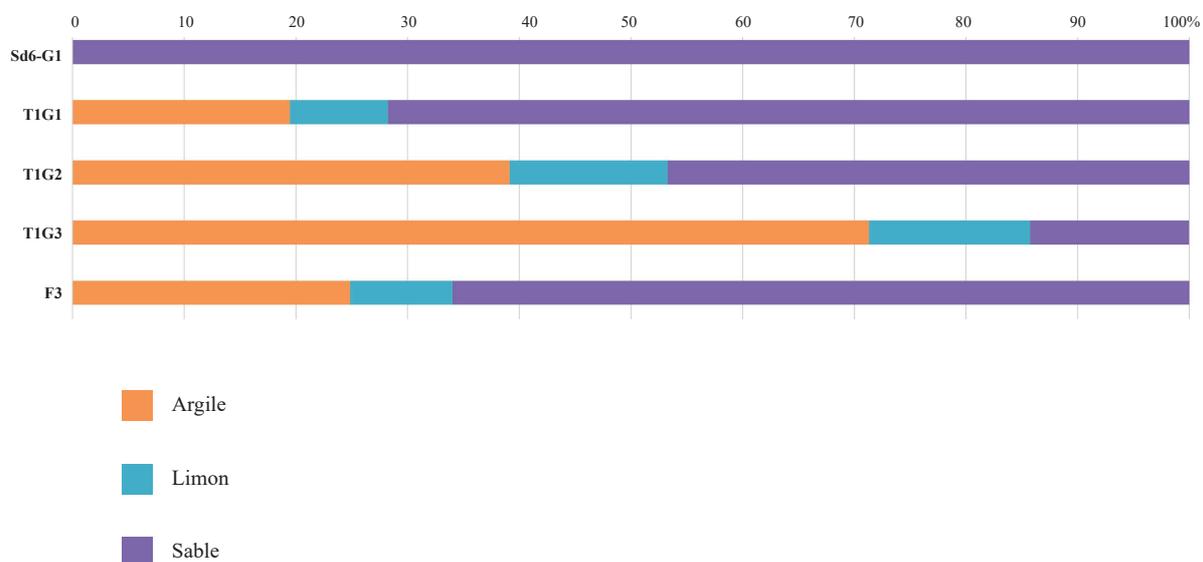


Fig. 21 Histogramme des textures des particules du deuxième corps.



Fig. 22 Appareil de susceptibilité magnétique MS2K

Sample ID	SI_Brut	SI_Brut	Profondeur (cm)_brutes	Moyenne des relevés_brut
Sd4-5-94cm*01	102.2769e-6	1,02E-04	0.05	=MOYENNE(H3;H5)
Sd4-5-94cm*02	102.3202e-6	1,02E-04	0.05	MOYENNE(nombre1; [nombre2]; ...)
Sd4-5-94cm*03	102.3566e-6	1,02E-04	0.05	
Sd4-5-94cm_0001*01	166.6725e-6	1,67E-04	0.07	1,6451E-04
Sd4-5-94cm_0001*02	166.7089e-6	1,67E-04	0.07	
Sd4-5-94cm_0001*03	160.1584e-6	1,60E-04	0.07	

Fig. 23 Moyenne des relevés par centimètre mesuré.

par décantation en contexte distal sur le lit majeur par exemple (palier de sédimentation en deçà de 9cm/s).

La transition avec la phase suivante est brusque avec une augmentation rapide des sables (de 52% à plus de 90%), indiquant que les écoulements gagnent en compétence.

La phase 3 correspond à des sédiments fins, globalement composés au moins 20% d'argiles et de limons. Elle s'apparente à un milieu à hydrodynamisme élevé : les valeurs indicatives du diagramme de Hjulström soulignent que les courants nécessaires de transport pour la fraction $\leq 2\text{mm}$ sont entre 35 et 7cm/s. Compte tenu de la relativement faible proportion de graviers et galets $\geq 2\text{mm}$, cette estimation correspond à une vitesse vraisemblable. Cette phase correspond donc au fonctionnement d'un chenal à hydrodynamisme changeant, probablement fort à moyen.

Les échantillons du corpus complémentaire ont fait aussi l'objet d'un histogramme de texture (**Fig. 21**).

L'échantillon SD6G1 se rapproche par sa granulométrie de l'échantillon XXIV, entièrement sableux. Il indique un milieu de dépôt comparable celui de la phase 1.

L'échantillon issu du comblement de la fosse F3 se rapproche par sa granulométrie des échantillons appartenant à la phase 3 (notamment les échantillons VII et X). Ces échantillons appartiennent à l'US 1002, que vient perturber le creusement de la fosse. Ainsi, le comblement de la fosse correspond à l'US 1002 remaniée comme le prouve la granularité très comparable.

Les échantillons du tumulus (T1G1 à T1G3) sont marqués par la part croissante des argiles lorsqu'on l'on descend dans le fond de la structure.

Susceptibilité magnétique

Introduction et principe

Lors de la campagne de prospection de juin 2022, l'Université de Rouen a mis à disposition de l'INRAP du matériel afin de mesurer la susceptibilité magnétique. Le principe de la susceptibilité magnétique consiste à appliquer un champ magnétique à un sédiment et de mesurer, en retour, la valeur de son aimantation volumique acquise. Cela permet ainsi de « *quantifier le contenu sédimentaire en minéraux magnétiques, en considérant que l'effet de la texture est négligeable* » (Vannière et al., 2000). Vannière rappelle également que *la concentration en minéraux magnétiques des sols est généralement plus élevée dans les zones non cultivées que dans les zones cultivées, à l'exception possible lorsque l'augmentation de la*

susceptibilité magnétique dans les zones d'accumulation sédimentaire peut être mise en relation directe avec la nature de la zone d'approvisionnement et avec l'érosion des sols, liée aux phénomènes de déforestation et aux pratiques agricoles.

Méthodologie et protocole

L'appareil utilisé sur le terrain est un MS2K *surface scanning sensor* de Bartington Instruments (**Fig. 22**). Il s'agit d'un petit boîtier, équipé d'un capteur circulaire de 25mm. Le manuel d'utilisation indique que « *Chaque capteur est calibré individuellement pour mesurer le χ_{vol} réel lorsqu'il est mesuré contre une surface plane de plus de 10 mm de profondeur, et également étalonné individuellement pour compenser la dérive induite par la température.* ». Le capteur est connecté à l'appareil de mesure MS2 qui est ensuite relié à une tablette renforcée pour une utilisation de terrain. Les mesures de susceptibilité magnétique ont été réalisées tous les deux centimètres avec une répétition de trois mesures, sur 4 logs localisés respectivement dans le SD4, le SD5 et deux logs dans le tumulus 2.

Résultats

Lecture des graphes

Des graphiques ont été réalisés à partir des données brutes sur Excel. Tout d'abord, le premier graphique représente ce qu'on a appelé « Moyenne des relevés brut », il s'agit de la moyenne des trois mesures pour chaque point pris tous les 2cm (**Fig. 23**). Un graphique de moyennes mobiles a été ajouté dans le but de renforcer les tendances longues, tout en diminuant le poids des fluctuations transitoires (**Fig. 24 à 27**). Ainsi, la première moyenne mobile est réalisée avec un pas de 6 cm autour du point étudié, puis la deuxième avec un pas de 12cm puis la troisième avec un pas de 18cm.

La courbe de la moyenne mobile 18cm du sondage 4 (**Fig. 24** : Courbes SD4-5-94cm) fait état de valeurs supérieures à $7,5E-5$ SI dans la première partie du log, jusqu'à 45cm de profondeur. On note ensuite une forte décroissance du signal jusqu'à atteindre $7,0980E-06$ SI à 77cm de profondeur.

La courbe de la moyenne mobile 18cm du sondage 5 (**Fig. 25** : Courbes SD5-5-85cm) fait également état de valeurs supérieures à $7,5E-5$ SI dans la première partie du log, jusqu'à 43cm de profondeur. A la différence du sondage 4, le signal de susceptibilité magnétique est ici beaucoup plus centré autour de $7,5E-5$ SI, les valeurs extrêmes ne s'en éloignent que faiblement.

Le « Tumulus » a fait l'objet de deux prises de mesures, à l'Est et l'Ouest du sondage.

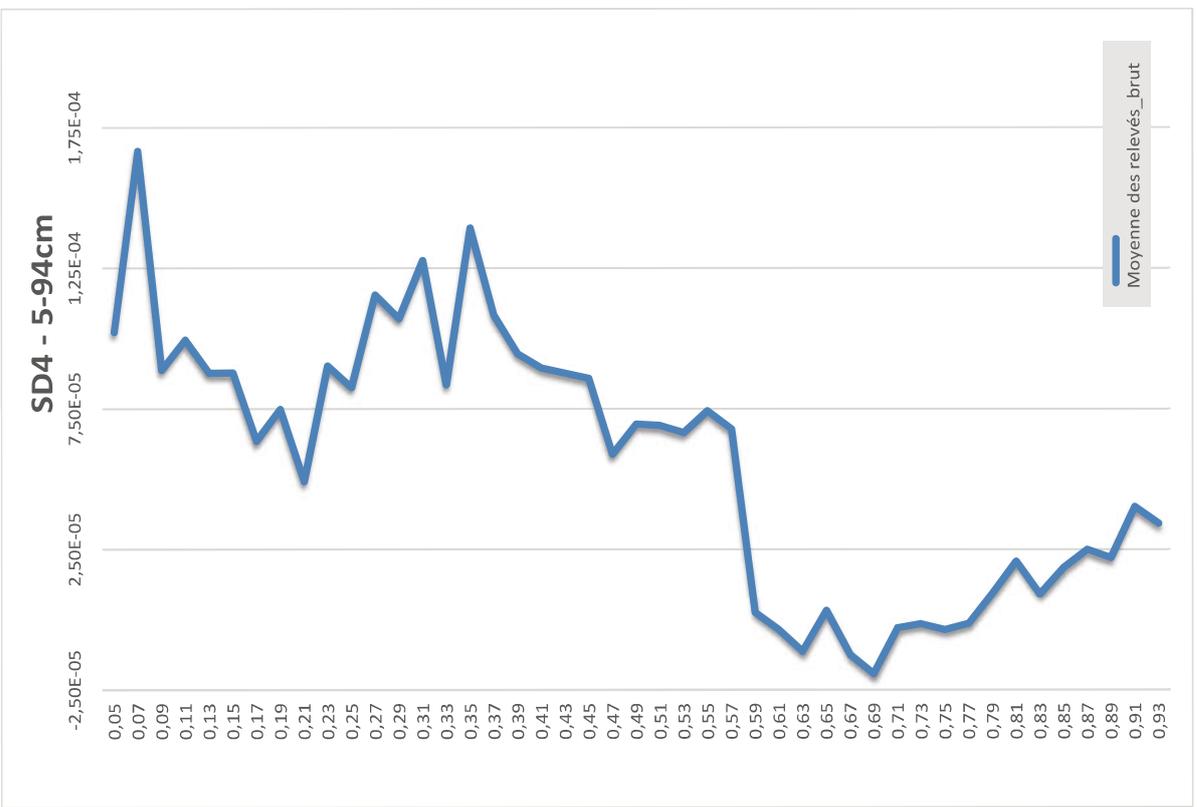
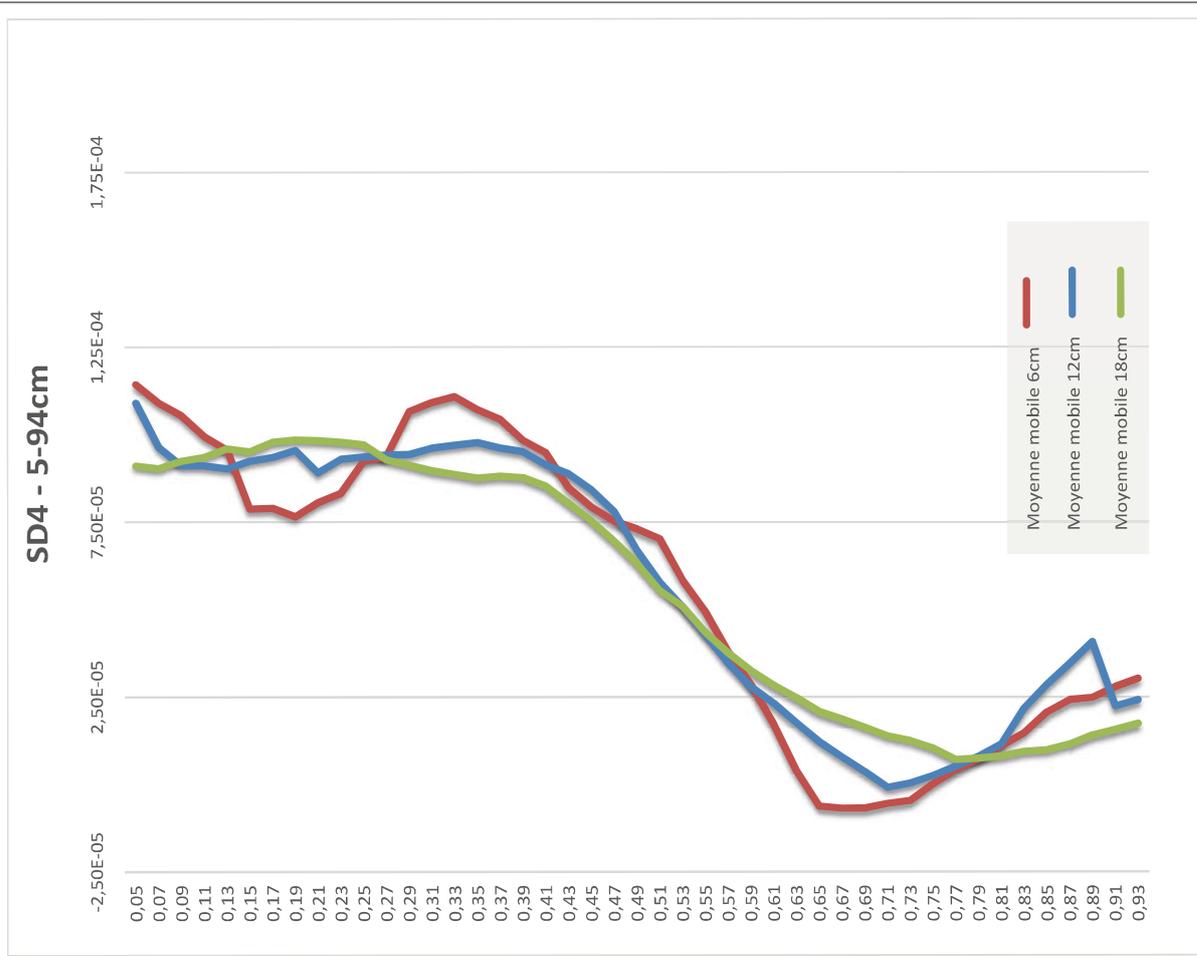


Fig. 24 Sd 4 Graphiques de susceptibilité magnétique : courbes brutes et moyennes mobiles

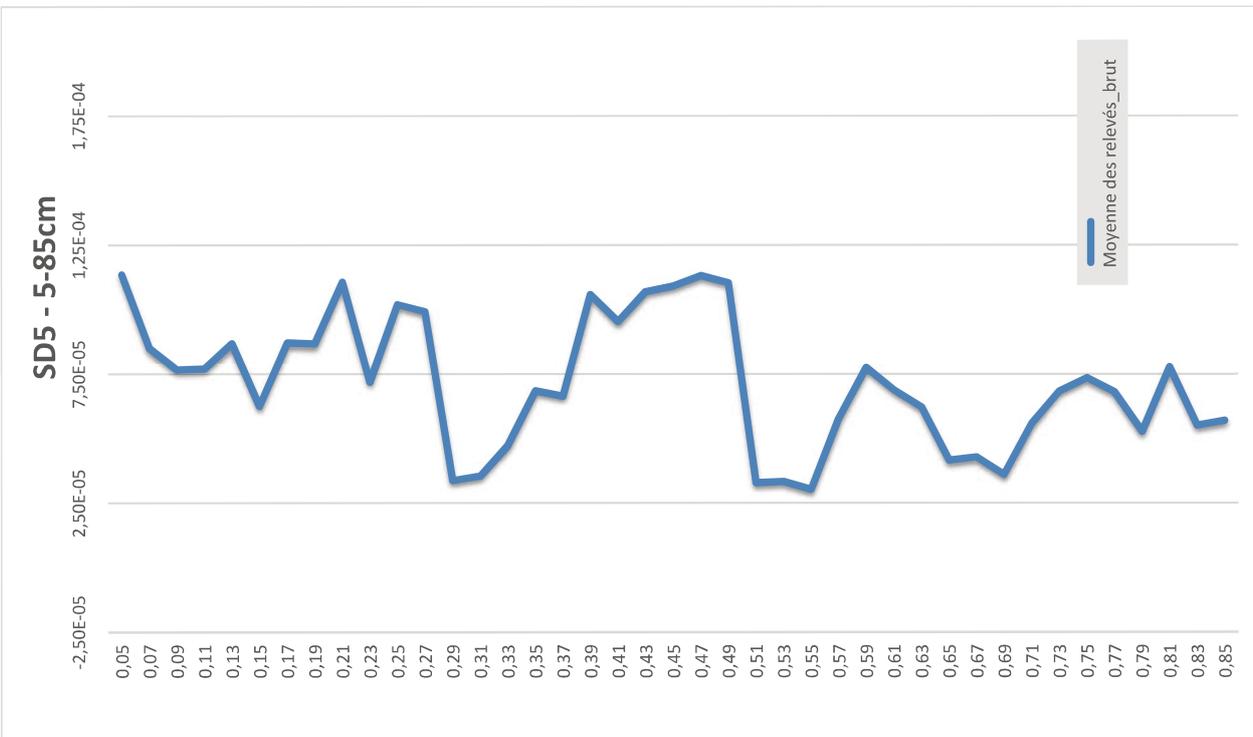
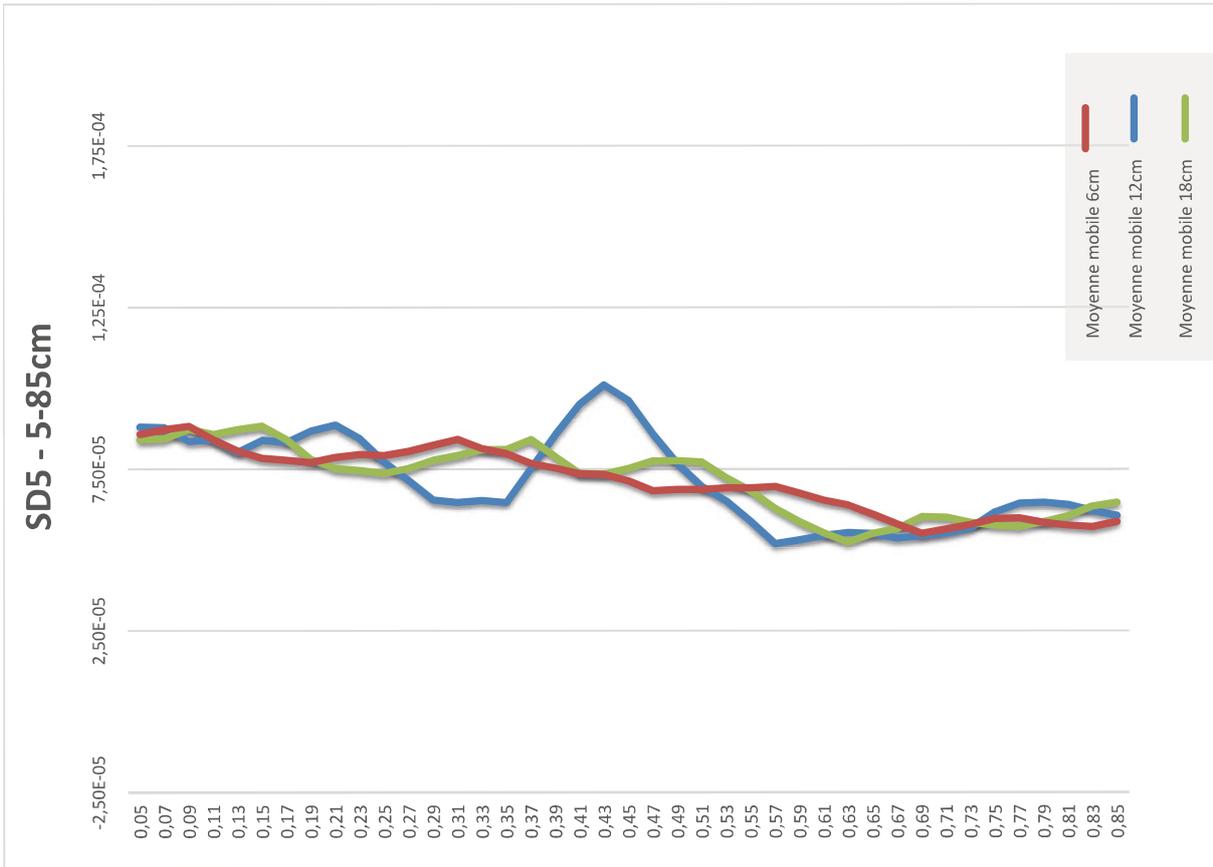


Fig. 25 Sd 5 Graphiques de susceptibilité magnétique : courbes brutes et moyennes mobiles

La courbe de la moyenne mobile 18cm du sondage sur le tumulus (**Fig. 26** : Courbes VI2022-T1_Est) montre une tendance générale à la décroissance des valeurs de susceptibilité magnétique. La courbe en elle-même oscille fortement, malgré le pas de 18cm.

La courbe de la moyenne mobile 18cm du sondage sur le tumulus (**Fig. 27**: Courbes VI2022-T1_Ouest) semble assez différente dans sa forme, même si la tendance générale est similaire. En effet, on observe une faible décroissance des valeurs de susceptibilité magnétique le long du log. De manière plus précise, la courbe subit d'abord dans les premiers centimètres de la structure une chute brutale des valeurs de susceptibilité magnétique. Ce point est peut-être un biais des opérateurs de terrains s'étant servi d'un clou pour planter le décimètre. Les mesures autour du point 0 cm sont possiblement soumis à l'influence de ce clou. Puis, entre 46cm et 1m, les valeurs de susceptibilité magnétique sont relativement plus fortes tandis qu'à partir de 1m, le signal replonge.

Interprétation

On va s'appuyer sur un graphiquephasé, qui mettent en parallèle les logs du sondage 4 et 5 et les courbes de susceptibilité magnétique (**Fig. 28**).

Pour le sondage 4, la courbe de susceptibilité magnétique distingue deux phases. La première (vert, moitié inférieure de la coupe) affiche des valeurs de susceptibilité magnétique assez faibles, parfois même négatives. On parle alors de matériaux diamagnétiques⁵. Le quartz adopte un comportement diamagnétique par exemple, ce qui correspond bien à la réalité du terrain puisqu'il s'agit de l'US 1003. La transition entre cette phase et la suivante est marquée par le passage des valeurs de susceptibilité magnétique au-delà de $7,5E-5$ SI. La phase 2 (orangé, partie supérieure de la coupe) affiche des valeurs de susceptibilité magnétique plus élevées, on parle alors de matériaux paramagnétiques⁶.

Pour le sondage 5, la courbe de susceptibilité magnétique distingue deux phases. La première phase (jaune, partie inférieure de la coupe) indique des valeurs de susceptibilité magnétique assez faibles

⁵. L'application d'un champ magnétique sur un atome modifie le nuage électronique qui, par réaction, induit un effet qui s'oppose au champ inducteur (loi de Lenz). La susceptibilité magnétique est donc négative. Parmi les matériaux diamagnétiques, on peut citer l'eau, le quartz et la calcite. Il faut noter que le diamagnétisme ne dépend pas de la température. Source : Christophe Delrive, 1993.

⁶. Certains matériaux acquièrent une aimantation dirigée dans le sens du champ magnétique appliqué. Le paramagnétisme provient du remplissage incomplet de la couche électronique 3d. Les moments atomiques tendent à s'aligner avec le champ magnétique extérieur. Lorsque les couches électroniques sont complètes, ces moments atomiques ont des effets qui se compensent. Par contre, si une couche est incomplète, l'effet global n'est pas nul. Dans ce cas, la susceptibilité magnétique est positive et est supérieure à la susceptibilité diamagnétique. C'est le cas des ions des éléments de transition dont les plus répandus sont le fer, le manganèse, le cobalt et le nickel. L'influence de la température est donnée par la loi de Weiss-Curie dans laquelle **C** est une constante dépendant du matériau. Source : Christophe Delrive, 1993.

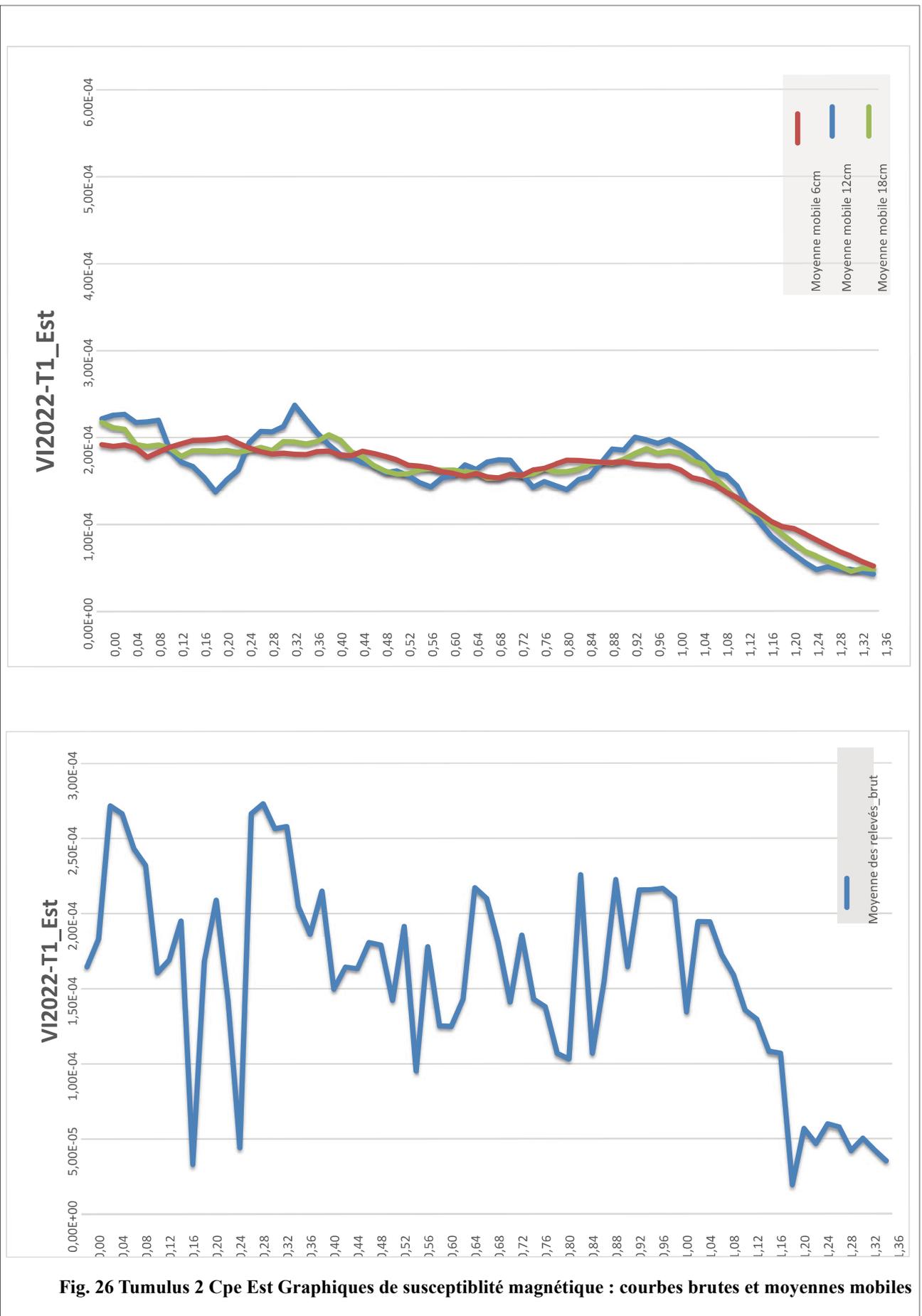


Fig. 26 Tumulus 2 Cpe Est Graphiques de susceptibilité magnétique : courbes brutes et moyennes mobiles

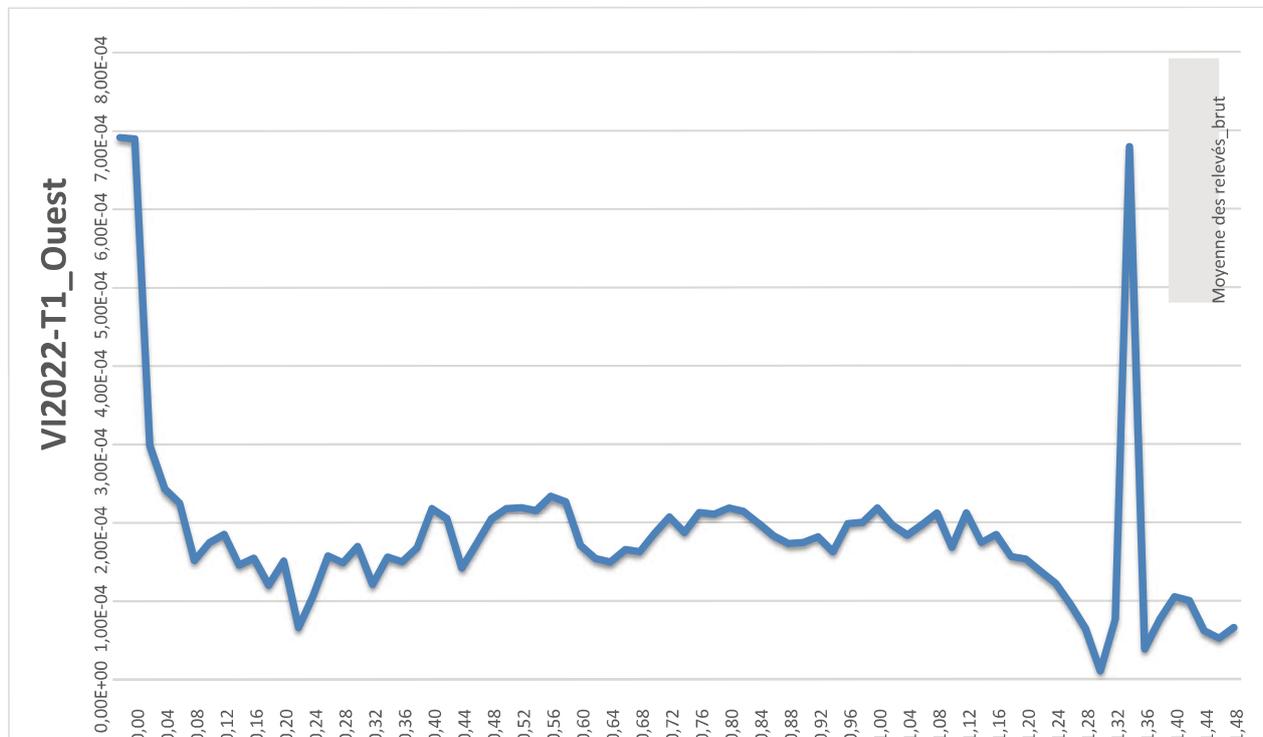
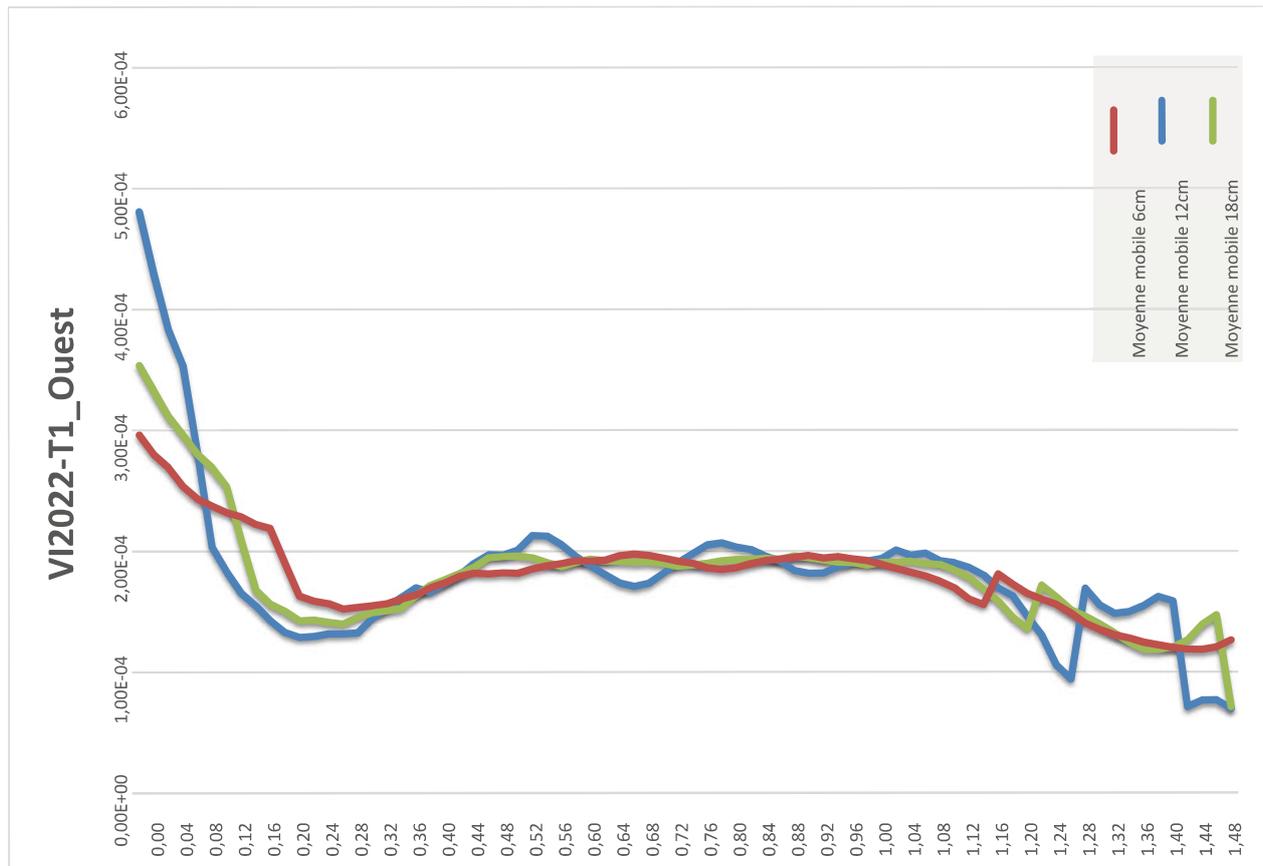


Fig. 27 Tumulus 2 Cpe Ouest Graphiques de susceptibilité magnétique : courbes brutes et moyennes mobiles

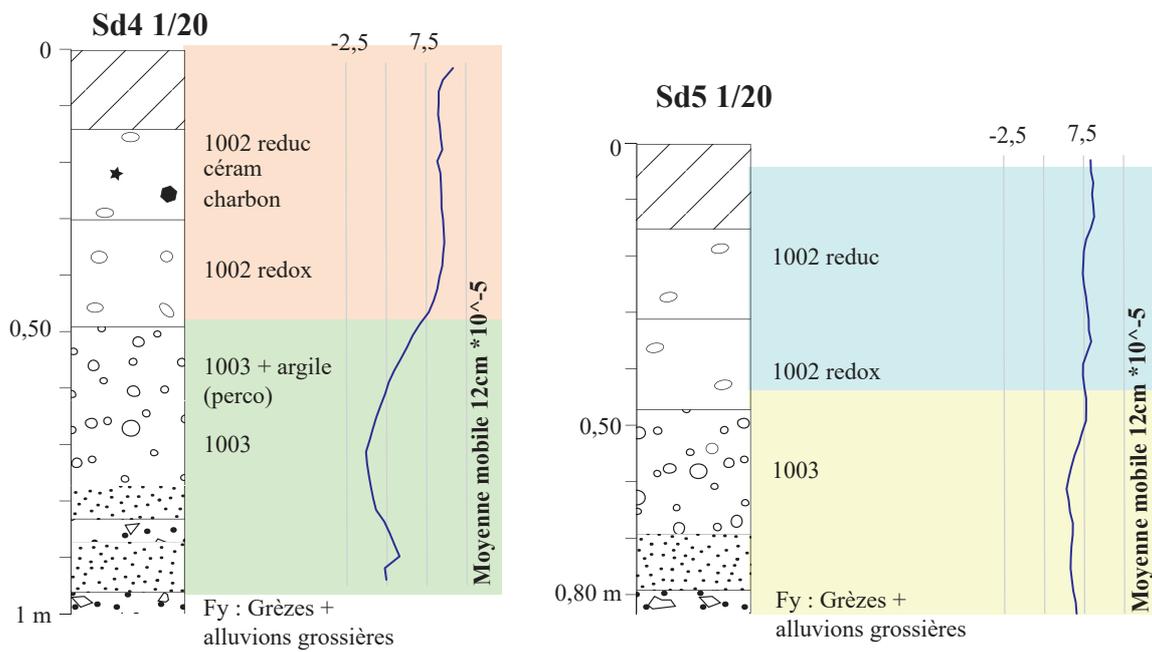


Fig. 28 Découpage des résultats (moyenne mobile 12cm) de susceptibilité magnétique corrélé à la stratigraphie du terrain.

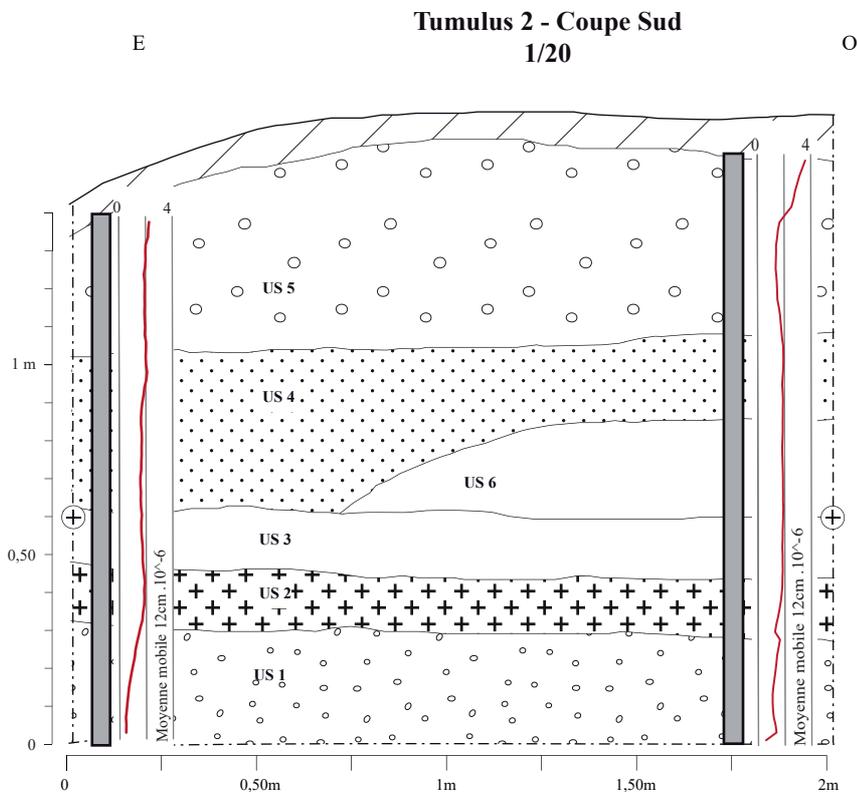


Fig. 29 Superposition des résultats de susceptibilité magnétique avec le relevé stratigraphique du tumulus.

et inférieures à $7,5E-5$ SI. Le sédiment est composé de quelques minéraux ferro-magnésiens. La transition avec la phase suivante est progressive. La phase 2 (bleue, partie supérieure de la coupe) affiche des valeurs de susceptibilité magnétique assez faibles, mais supérieures en majorité à $7,5E-5$ SI. Le sédiment est composé de davantage de minéraux ferro-magnésiens.

Le choix de séparer par phases ces deux jeux de données ne repose que sur la volonté de distinguer finement des ensembles de valeurs. Toutefois, compte-tenu des gammes de valeurs observées, ces deux jeux de données ne révèlent qu'un comportement paramagnétique, indiquant la présence de minéraux ferro-magnésiens comme le fer et le manganèse par exemple, en quantité variable. En dépit du caractère peu significatif des variations on constate un changement d'allure de la courbe à l'interface entre les US 1003 et 1002. Le phénomène pourrait être en rapport avec le battement de la nappe phréatique.

Au niveau du tumulus, la courbe de la moyenne mobile au pas de 12 centimètres révèle que les sédiments adoptent une réponse paramagnétique (**Fig. 29**). Ces sédiments contiennent donc des minéraux ferro-magnésiens, en quantité variable.

Bien que la transition entre l'US 1 et 2 soit faiblement marquée par une baisse de la susceptibilité magnétique dans l'US1, cela n'a pas été suffisant pour appliquer un phasage à la figure LM28.

Il ne faudra donc pas se baser sur la susceptibilité magnétique pour caractériser les US en laboratoire.

Spectrométrie de fluorescence X

Introduction et principe

Lors de la campagne de prospection de juin 2022, des prélèvements sur rails avaient été effectués dans le but de les analyser à l'aide de la spectrométrie de fluorescence X à l'Université de Rouen au laboratoire IDEES 6266. Le principe de la spectrométrie de fluorescence X est de détecter la présence de certains éléments chimiques dans l'échantillon testé. V. Thirion-Merle (2014) rappelle que la spectrométrie de fluorescence X « *permet l'analyse de tous les éléments chimiques du Béryllium (Be) à l'Uranium (U) dans des gammes de concentration allant de quelques ppm à 100%, avec des résultats précis et surtout reproductibles* ». La haute précision et l'exactitude de ce genre d'analyse donnent des résultats robustes en un minimum de temps et de préparation. Plus précisément, il s'agit d'irradier un échantillon par un faisceau de rayons X primaire depuis un tube à rayons X, ce qui provoque l'émission de rayons X fluorescents dotés d'énergies discrètes caractéristiques des éléments présents dans l'échantillon (Malvern Panalytical Ltd, 2022).

Méthodologie et protocole

L'appareil utilisé au laboratoire IDEES 6266 est un NITON XL3t de Fondis Electronics. Il s'agit d'un analyseur portatif équipé d'un panneau de commande tactile, d'une fenêtre de mesure émettrice de rayons X, d'une gâchette et de divers capteurs.

L'analyseur est relié à un ordinateur via un câble ce qui permet de le contrôler à distance, limitant ainsi l'exposition aux rayons ionisants. Les commandes se font via le logiciel Thermo Scientific NDT. Les mesures de fluorescence X ont été réalisés tous les centimètres avec un temps de mesure de 120 sec sur les deux rails de prélèvements. Quatre échantillons standards ont été également mesurés, en guise d'étalon.

Résultats

Données brutes et erreurs

L'appareil NITON XL3t est capable de mesurer 42 éléments du tableau de Mendeleïev. Les mesures sont présentées pour chaque élément dans un tableur avec, pour chaque élément, sa colonne associée qui indique l'erreur de mesure.

Ainsi, parmi les éléments majeurs qui semblaient pertinents au regard de cette recherche, le choix a été fait d'éliminer l'élément chimique **Mg** (Magnésium) car l'erreur sur sa mesure est bien trop importante (**Fig. 30**). Concernant les éléments traces, il faudra être particulièrement prudent avec les éléments chimiques Yttrium (**Y**) et Zirconium (**Zr**) car les graphiques montrent un étalement conséquent des valeurs extrêmes avec des pourcentages d'erreurs allant au-delà de 20%.

Lecture des graphes en ppm

Le choix a été fait de représenter quelques éléments majeurs : **Fe**, **Al**, **K** et **Ca**. Dans le cadre de cette étude, l'élément **Ca** est marqueur des carbonates, **Fe** marqueur des oxydes de fer, les éléments **Al** et **K** sont plutôt marqueurs des argiles pour l'aluminium, et, marqueurs des feldspaths/micas qui se dégradent en argiles pour le potassium. Concernant les éléments mineurs, les éléments **Sr**, **Rb**, **Y** et **Zr** ont été représentés car ils sont marqueurs dans cette étude de divers minéraux : **Sr** (carbonates), **Rb** (feldspaths et micas des pegmatites), **Y** (terres rares), **Zr** (roches cristallines). Les graphes bruts étant trop sujets aux fluctuations centimétriques, la représentation s'est portée sur la création d'une moyenne mobile au pas de 5cm (**Fig. 31**).

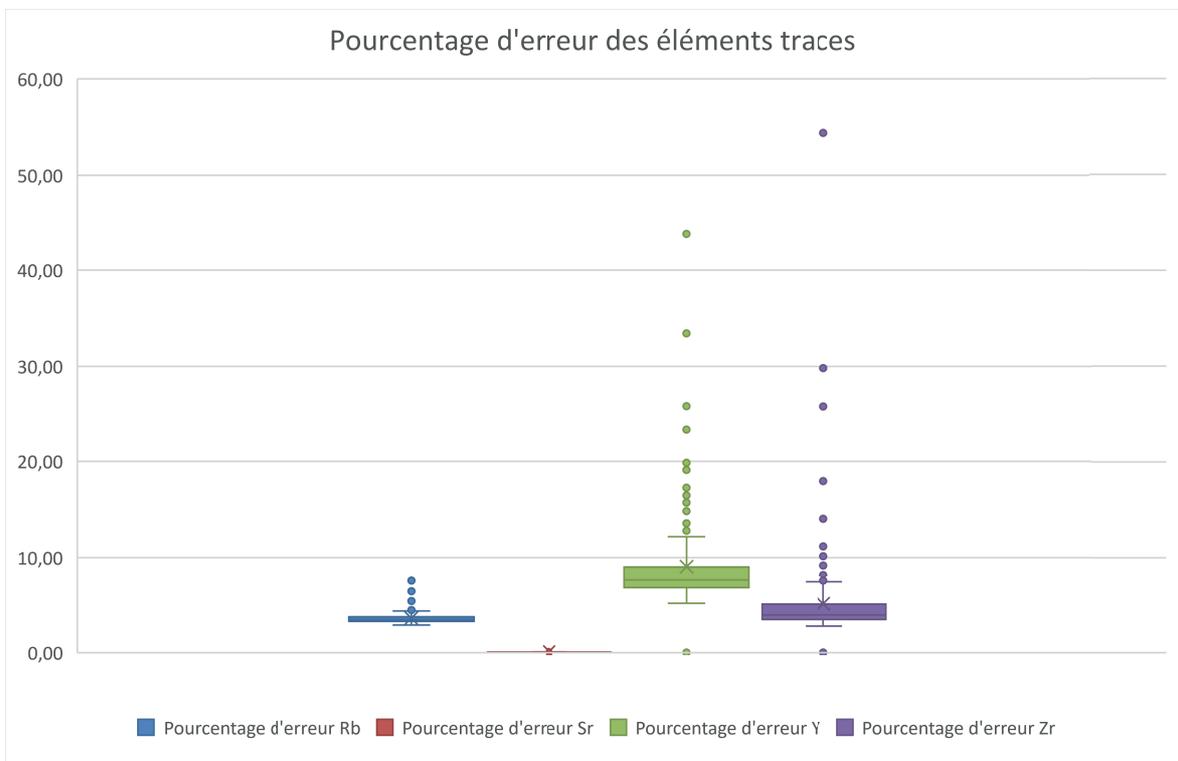
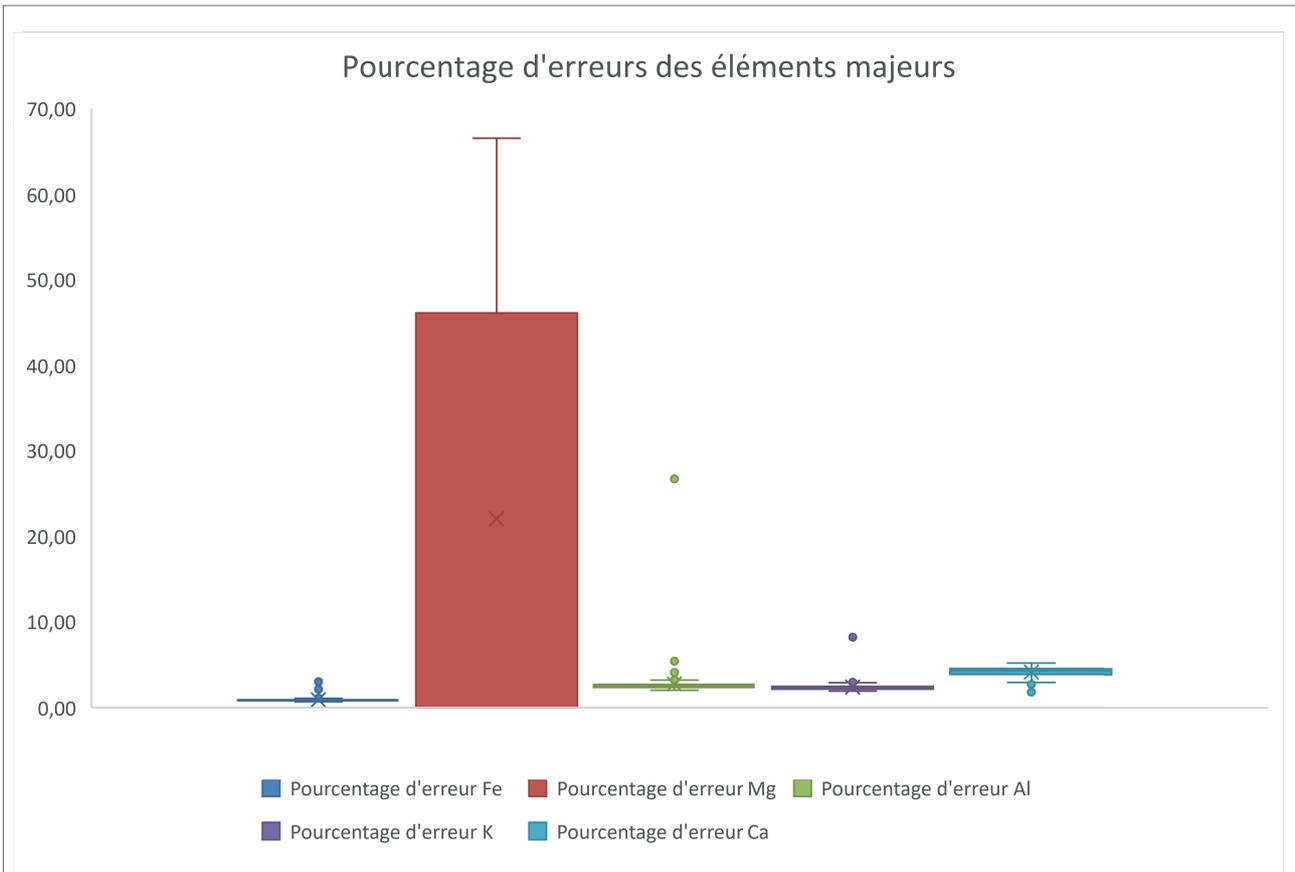


Fig. 30 Répartition des pourcentages d'erreur pour les éléments majeurs et les éléments traces.

<u>Tumulus</u>		
Eléments majeurs	Fe	Léger pic vers 67cm
		Pic plus marqué entre 70 et 80cm
	Al	Courbe très mobile malgré le lissage moyenné
		Trois périodes de valeurs hautes entre 15 et 30cm, 42 et 60cm et 71 et 90cm
	K	Courbe très stable où il est compliqué de définir des tendances nettes
Léger sursaut autour de 60cm.		
Ca	Courbe à valeurs plus hautes entre 43 et 55cm environ et entre 73 et 90cm	
Eléments traces	Tendance avec peu de pics distinguables. Chute générale des valeurs à partir de 60cm	
	Y	Sursauts autour de 65cm et entre 72 et 82cm
		Trois périodes de valeurs hautes entre 15 et 30cm, 42 et 60cm et 71 et 90cm
	Zr	Sursauts autour de 23cm et 56cm.
<u>Sondage 3</u>		
Eléments majeurs	Fe	Pic vers 20 et plateau vers 50cm
		Forte chute de 53cm à 80cm puis remontée des valeurs jusqu'à 95cm.
	Al	Légère décroissance autour de 11cm
		Puis stabilité relative entre 20 et 70cm
		Chute des valeurs avec point bas à 80cm.
	K	Léger bombement autour de 50cm
		Chute des valeurs avec point bas à 80cm.
	Ca	Valeurs hautes entre 60 et 75cm environ
Chute des valeurs avec point bas à 80cm.		
Eléments traces	Tendance avec peu de variations notables dans les 60 premiers centimètres.	
	Chute générale des valeurs avec point bas à 80cm.	
	Remontée vers 92cm	

Fig. 31 Lecture des résultats d'après les courbes des éléments mesurés.

Il existe la possibilité de convertir les données en ppm du tableau en pourcentages d'oxydes. Compte-tenu du temps imparti, ce travail sera reporté en cas de poursuite des prospections.

Interprétation

Pour chaque contexte, un graphique d'interprétation est proposé :

Pour le tumulus (**Fig. 32 et 33**), l'analyse des courbes pXRF montre qu'au niveau des éléments majeurs, **Al** et **K** et **Fe** marquent l'US 5 puisque les courbes présentent des taux légèrement plus hauts. Les **éléments traces** semblent confirmer cette tendance sans que cela ne soit particulièrement net. L'US 5 est donc composée d'une plus forte part d'argiles et de feldspaths/micas en cours de dégradation.

La transition de l'US 5 vers l'US 4 se perçoit mieux au niveau des **éléments traces**, avec un léger rebond dans les courbes.

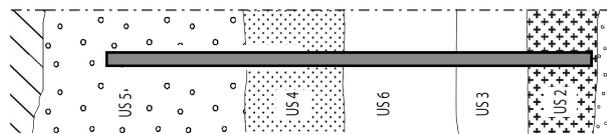
L'US 4 est peu marquée (mais sensiblement représentée) au niveau de **Fe** et **K** tandis que **Al** marque une réelle chute des valeurs. La courbe de **Ca** marque un plateau, légèrement décalé (à cause du lissage par moyenne mobile) vers la base de l'US 4. Seul **Zr** parmi les éléments traces suit cette légère tendance. Par rapport l'US supérieure, l'US 4 se distingue par sa faible part d'oxydes de fer et d'argiles et une quantité plus forte de carbonates.

La transition de l'US 4 vers l'US 6 se perçoit au niveau des **éléments majeurs**, avec une légère croissance des valeurs des courbes.

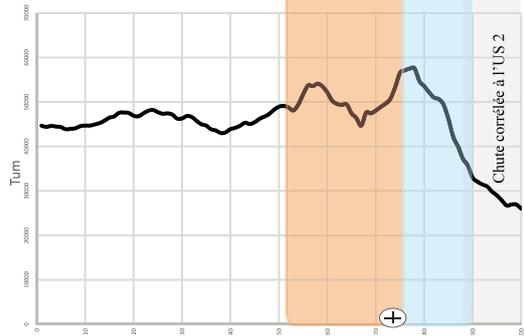
L'US 6 se détache avec des variations de courbes au niveau du **Fe** et de **Al** principalement, ce qui indique une US peu homogène. Les **éléments traces** n'aident pas particulièrement à l'individualisation de cette US. L'US 6 serait donc composée d'une variation locale d'oxydes de fer et d'argiles (dégradées ou non) sans que cela ne soit vraiment net. Ces variations internes devront être précisées via l'étude micromorphologique M4.

La transition de l'US 6 vers l'US 3 est marquée par une remontée générale des valeurs des courbes. L'US 3 est donc marquée par un pic de **Fe**, **Al** et **Ca**. Les **éléments traces**, enregistrent plutôt une baisse générale des valeurs, à l'exception de **Y**. L'US 3 est donc composée d'une large part d'oxydes de fer (ferrique car la zone n'est pas engorgée en permanence), d'argiles (en cours de dégradation ou non) et des carbonates. Il s'agit de l'US qui présente les plus fortes valeurs de **Ca**, impliquant un taux de carbonates plus important que dans le reste de la colonne.

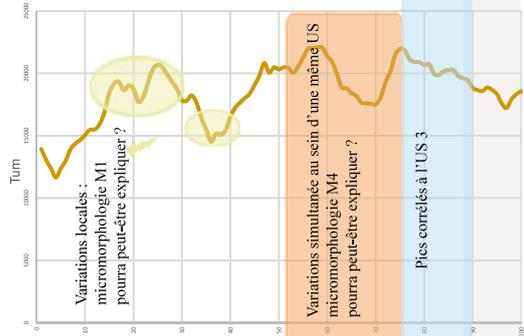
La transition de l'US 3 vers l'US 2 est perçue dans la chute presque générale des **éléments majeurs** et des **éléments traces**.



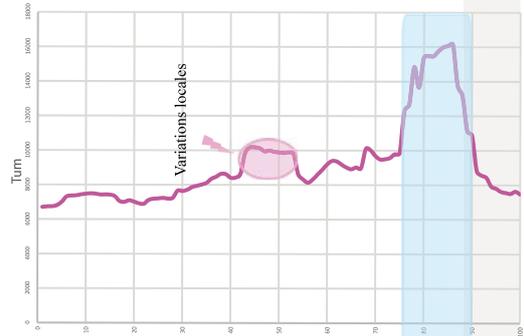
Moyenne mobile à 5cm - Fe



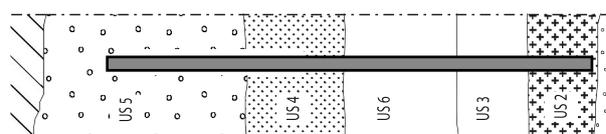
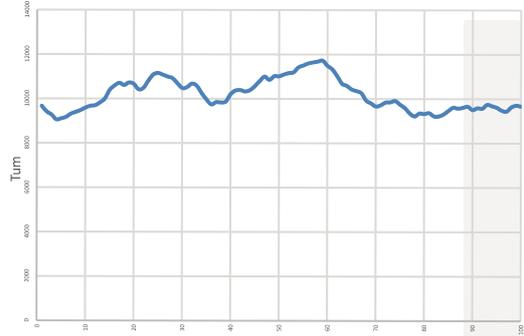
Moyenne mobile à 5cm - Al



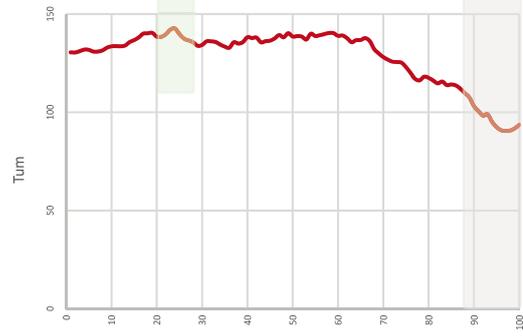
Moyenne mobile à 5cm - Ca



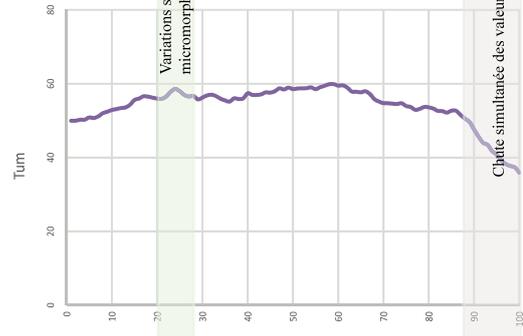
Moyenne mobile à 5cm - K



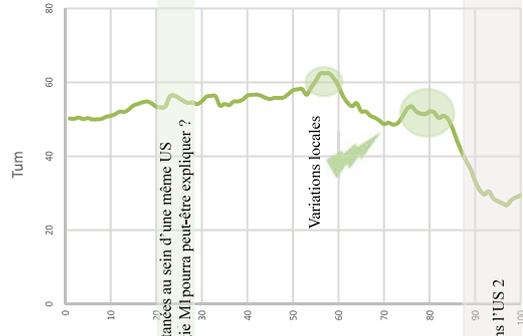
Moyenne mobile à 5cm - Rb



Moyenne mobile à 5cm - Srl



Moyenne mobile à 5cm - Y



Moyenne mobile à 5cm - Zr

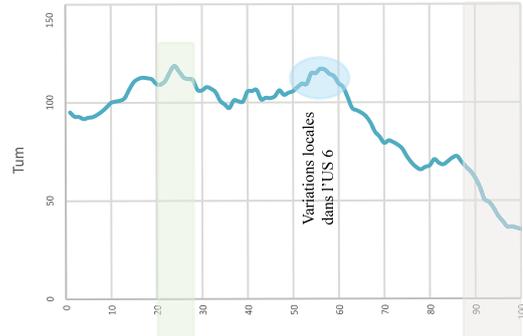


Fig. 32 Interprétation par phases d'après les analyses XRF pour les éléments majeurs du tumulus

Fig. 33 Interprétation par phases d'après les analyses XRF pour les éléments traces du tumulus

L'US 2 est ainsi marquée par de faibles valeurs de **Fe**, **Al** et **Ca** parmi les éléments majeurs tandis que pour les **éléments traces**, la chute est communes aux quatre graphiques. Cela indique donc que cette US serait composée de peu d'oxydes de fer, de peu de carbonates et d'une faible part d'argiles (dégradées ou non).

Pour le sondage³ (**Fig. 34 et 35**), montre qu'au niveau des éléments majeurs, **Fe** et **Al** repèrent bien l'US 1002 redox tandis que le potassium (**K**) la marque également plus subtilement. Ainsi, l'US 1002 redox est composée de davantage d'oxydes de fer (fer ferreux puisqu'il est réduit dans ce faciès), d'argiles et de feldspaths dégradés en argiles. Les **éléments traces** semblent marquer un léger bombement au niveau de l'US 1002 redox venant confirmer la présence de carbonates et de feldspaths (dégradés en argiles) principalement.

La transition entre les fronts réductiques et oxydés de l'US 1002 se dessinent au niveau de la légère baisse des valeurs de la courbe de **Fe**. Les courbes des autres éléments sont trop ténues pour pouvoir confirmer cette tendance.

L'US 1002 redox se dessine au niveau de **Fe** et de **K**, avec un léger plateau haut et un bombement, respectivement. Les **éléments traces** viennent appuyer cette distinction, en particulier avec les éléments **Zr** et **Y**. Ces courbes indiquent donc que l'US 1002 redox est composés d'oxydes de fer (ferrique dans ce cas, car oxydés en majorité) et de feldspaths en cours de dégradation vers des argiles.

L'US 1003, s'individualise bien au regard de ces courbes puisque le **Ca** et le **Y** réagissent d'abord par un pic suivi d'une forte chute des valeurs. Cette tendance générale à la chute des valeurs indique que ce diamicton est pauvre en **éléments majeurs** et en **éléments traces** bien que cela puisse venir de la macro-porosité de l'US, rendant difficile la prise de mesure. Les éléments ont pu également être lessivés par les battements de la nappe.

Enfin, la transition vers l'US 1005 est perçue grâce à la remontée générale des valeurs des courbes. Ainsi, l'US 1005 présente un taux plus important que l'US 1003 en **éléments majeurs** et en **éléments traces**, indiquant la présence d'oxydes de fer, de carbonates et d'argiles.

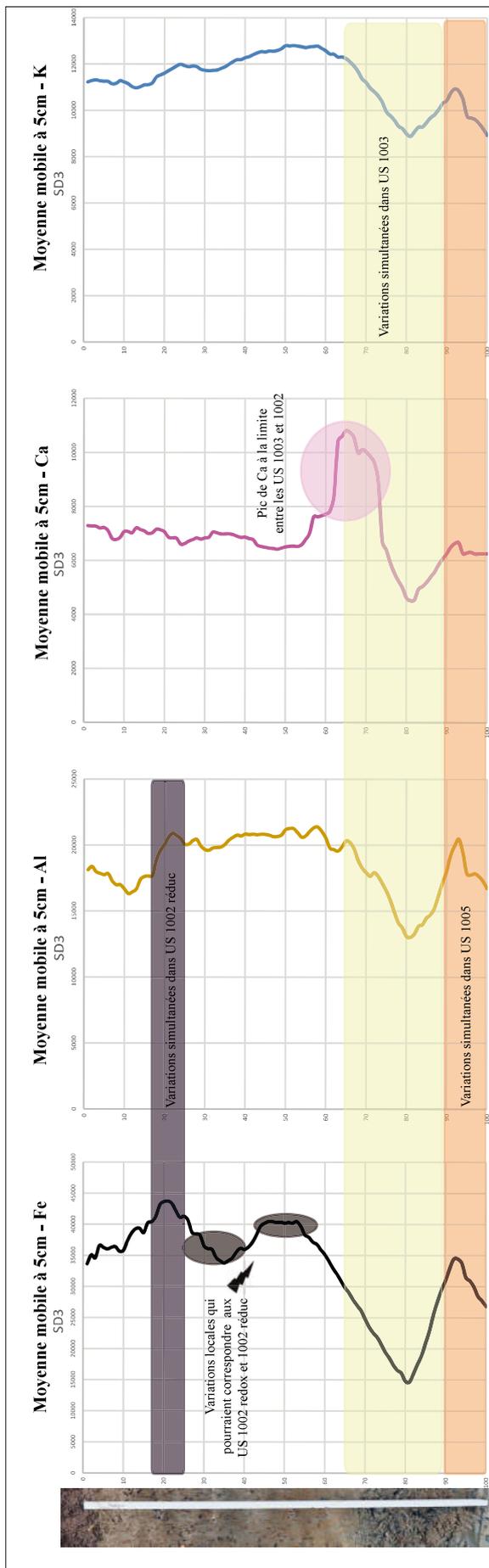


Fig. 34 Interprétation par phases d'après les analyses XRF pour les éléments majeurs du Sd3

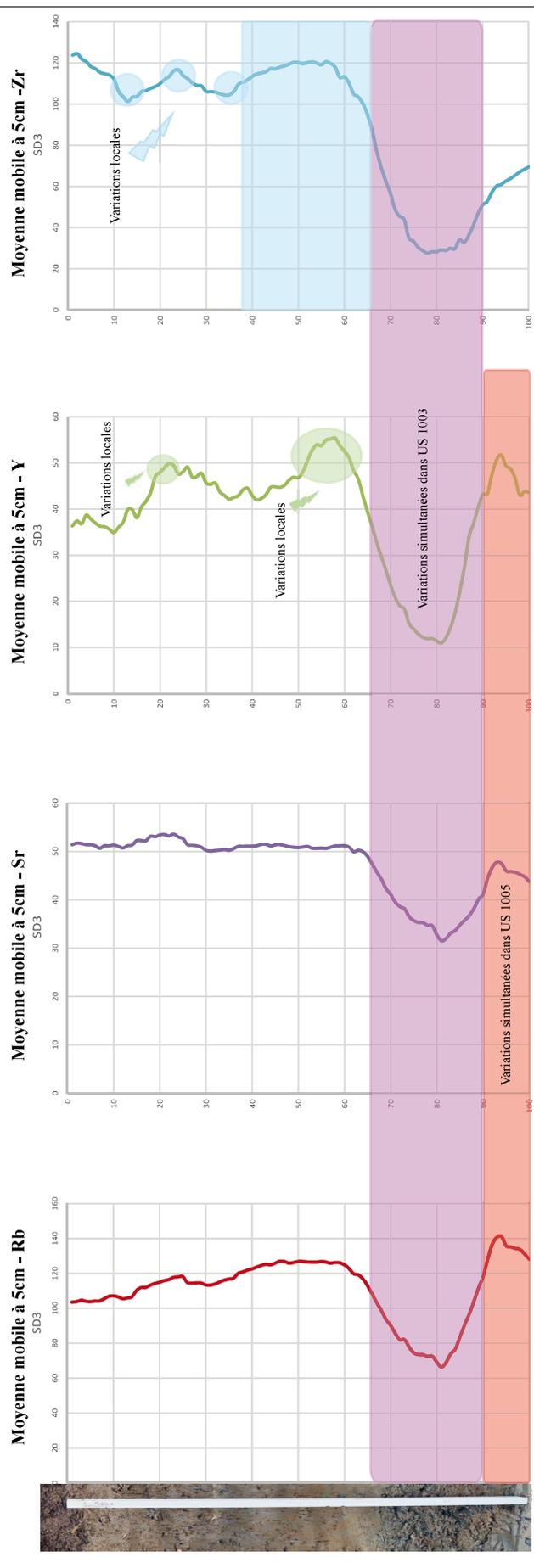


Fig. 35 Interprétation par phases d'après les analyses XRF pour les éléments traces du Sd3

Synthèse générale

A la suite de la première campagne de prospection en 2021, l'équipe portée par F. Di Napoli a poursuivi en 2022 les investigations à Villedieu sur Indre, dans un environnement humide, traversé par l'Indre. L'étude géoarchéologique présentée dans cette partie a fait intervenir différentes analyses. La susceptibilité magnétique des sédiments a été testée sur le terrain, puis les prélèvements ont été traités selon les méthodes de la perte au feu (PAF), de la granulométrie laser, et de la spectrométrie de fluorescence en laboratoire.

Les échantillons étudiés provenaient d'une coupe stratigraphique dans le sondage 3 (24 échantillons), du tumulus (3 échantillons), du sondage 6 (1 échantillon) et du fait archéologique F3 (1 échantillon). Les résultats issus de l'analyse des prélèvements du sondage 3 nous permettent de retracer l'évolution de la dynamique de la plaine alluviale de la moyenne vallée de l'Indre au cours de l'Holocène.

Les données issues de la perte au feu (PAF) ont permis de distinguer cinq phases environnementales successives, oscillant entre des milieux peu compétents vers des milieux plus compétents au regard de la sédimentation de la Matière Organique (MO). L'étude granulométrique met en évidence trois phases environnementales successives, avec dans un premier temps des échantillons grossiers et relativement homogènes entre eux, puis une phase bien individualisée avec une forte proportion d'argiles et enfin une phase assez instable montrant des variations de textures. Les mesures de susceptibilité magnétique confirment que les sédiments sont composés principalement de minéraux ferro-magnésiens, au comportement paramagnétique. Bien qu'aucune tendance nette n'ait pu être corrélée aux variations stratigraphiques, la chute des valeurs à la base de la stratigraphie plaide pour un lessivage par la nappe phréatique. Enfin, l'interprétation des données XRF établit un parallèle entre la teneur en certains éléments (**Fe**, **Al**, **K**) avec les limites stratigraphiques.

La combinaison des phases issues de la PAF et des analyses granulométriques permet d'affiner le découpage de la séquence stratigraphique et aboutit à la distinction de 6 phases environnementales. (**Fig. 36**).

La phase 1 correspond aux alluvions Fy à la base de la séquence et formant l'assise des dépôts holocènes. Fy présente une faible teneur en MO et de forts taux de CO_2 et de CaCO_3 du fait de la présence des grèzes calcaires. Ces sédiments sont très grossiers : 43% de l'échantillon est supérieur à 2mm et plus de 90% des éléments inférieurs à 2mm appartiennent à la classe des sables. Des dépôts aussi grossiers se mettent en place dans un contexte périglaciaire du Pléistocène durant lequel les dynamiques environnementales témoignent de milieux à forte énergie. Le diagramme de

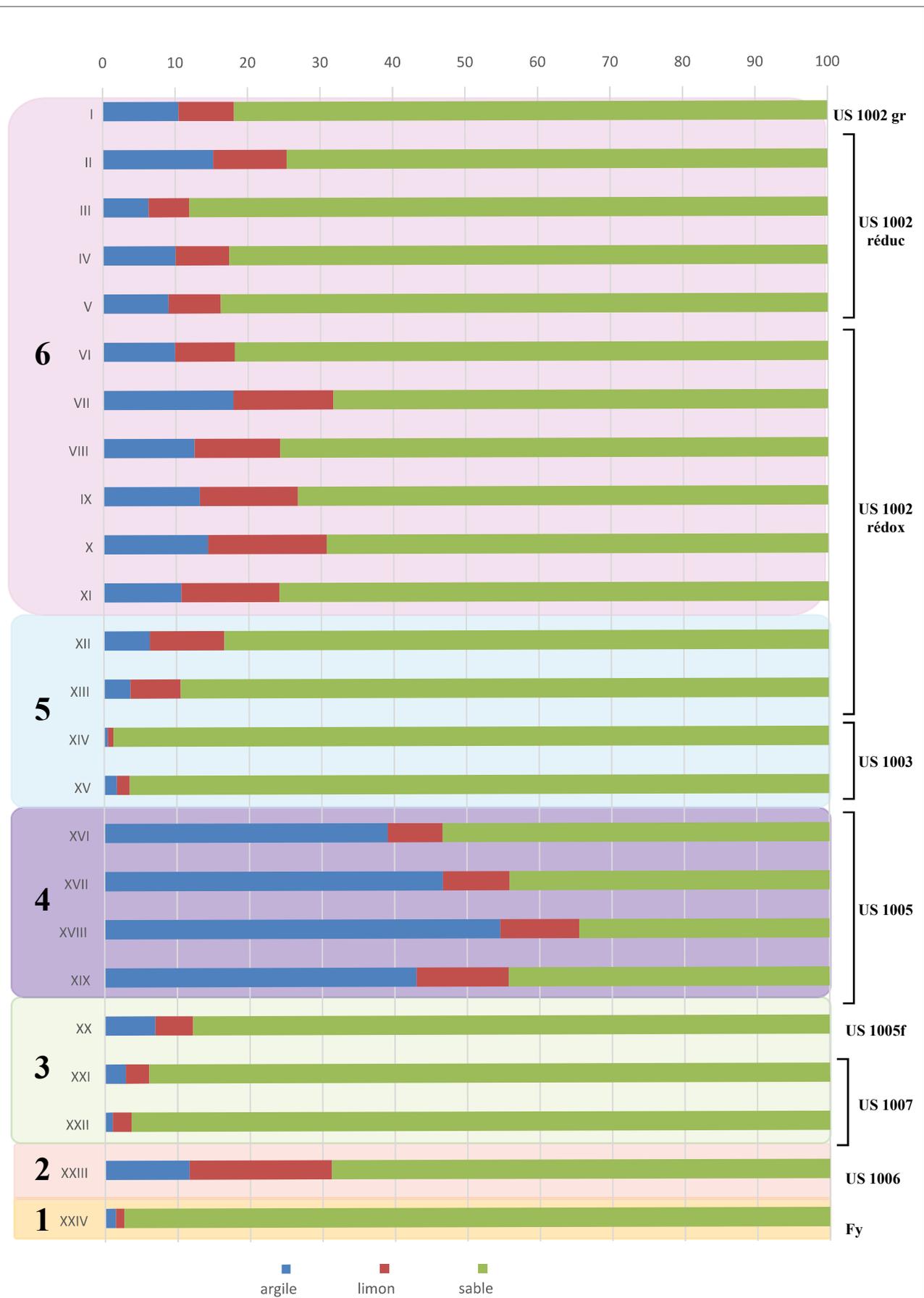


Fig. 36 Synthèse des interprétations par phases (PAF et Granulométrie) pour le Sd3

Hjulström obtenu sur l'échantillon XXIV indique une vitesse d'écoulement de l'ordre de 35cm/s, nécessaire pour tracter ces sédiments.

Le hiatus sédimentaire et chronologique qui sépare la phase 1 (Pléistocène) de la phase 2 (début de l'Holocène) se traduit nettement au niveau des textures et de la PAF.

La phase 2 correspond à l'US 1006 (échantillon XXIII) située à la base du comblement des paléochenaux datés du Boréal. Les sédiments ont des valeurs de CO₂, de CaCO₃ et d'humidité résiduelle comprises dans la tendance générale du reste de la stratigraphie alors qu'au contraire, les taux de MO sont de loin les plus hauts du graphique. En effet, il s'agit d'une US particulièrement riche en macro-restes végétaux. Les sédiments sont assez fins et présentent plus de 10% d'argiles. La phase 2 correspond ainsi à un milieu calme, avec des valeurs indicatives fournies par le diagramme de Hjulström de sédimentation en deçà de 9cm/s, qui permet à la MO et aux argiles de sédimenter.

La transition avec la phase suivante se traduit par des apports sensiblement plus sableux. Les taux d'argiles sont divisés par 10 entre l'échantillon XXIII et XXII. Les taux de MO et d'humidité résiduelle chutent également fortement.

La phase 3 correspond aux US 1007 (échantillons XXI et XXII) et à la base de l'US 1005 (faciès plus foncé, échantillon XX). Les valeurs de CO₂, de CaCO₃ et de MO sont comprises dans la tendance générale, les taux d'humidité résiduelles sont décroissants vers la base de la stratigraphie. Les sédiments de cette phase ont une faible proportion d'éléments fins dans un contexte hydrodynamique assez fort.

La légère augmentation des argiles dans la progression de la phase 3 vient se confirmer nettement dans la phase 4, passant de moins de 10% à plus de 35% d'argiles.

La phase 4 correspond à l'US 1005 (échantillons XIX à XVI). Les sédiments ont les valeurs les plus élevées d'humidité résiduelle, expliquée par la nature argileuse prédominante ($\geq 38\%$ d'argiles) de ces dépôts. Les écoulements sont donc particulièrement calmes et peu compétents (palier de sédimentation en deçà de 9cm/s).

Les phases 2, 3 et 4 se localisent exclusivement dans les comblements de chenaux Boréal bien individualisés. Elles appartiennent au même contexte de mise en place : la tendance évolutive d'un comblement de plus en plus argileux reste globalement le même entre la base de la phase 3 et le sommet de la phase 4, qui marque la fin de fonctionnement du chenal.

La phase 5 correspond à l'US 1003 (échantillons XIV et XV) et à la base de l'US 1002 redox (échantillons XII et XIII) ; elle est perçue grâce aux analyses XRF qui affichent une baisse des

valeurs des courbes des **éléments majeurs** et **traces** (chute des carbonates, des argiles et des oxydes de fer). Le phénomène s'explique probablement par la macro-porosité de l'US 1003, combinée ou non au lessivage des constituants par le battement de la nappe phréatique. La forte et soudaine baisse de la proportion des argiles dans cette phase (certains échantillons presque constitués à 100% de sables) souligne un contexte hydrodynamique fort et variable, peu compatible avec le dépôt de MO. Cette phase a été reconnue sur l'ensemble de la plaine alluviale.

Le passage à la phase suivante est progressif tant du point de vue de la PAF que des valeurs de granularité.

La phase 6 correspond à l'US 1002 (échantillons XI à I). Les analyses XRF ont montré que l'US 1002 redox est composée de davantage d'oxydes de fer ferreux, d'argiles et de feldspaths/micas dégradés en argiles que l'US 1002 redox (oxydes de fer ferrique). Les taux de MO sont constants et témoignent d'un milieu peu compétent et relativement stable même si quelques incursions sableuses témoignent d'un hydrodynamisme qui fluctue (palier de transport pour la fraction $\leq 2\text{mm}$ sont entre 35 et 7cm/s). Ce type d'environnement qui se rattache certainement à ce que l'on observe aujourd'hui avec des crues saisonnières et temporaires.

Les phases 5 et 6 se localisent au-dessus des paléochenaux dans cette séquence et incarnent la dynamique sédimentaire de la plaine alluviale après le comblement total des paléochenaux de l'Indre. L'évolution des dépôts témoigne tout d'abord d'un contexte hydrodynamique élevé (US 1003) qui s'atténue avec le temps (US 1002) puisque la tendance générale de ces deux phases est à l'augmentation progressive des taux d'argiles.

En conclusion, l'histoire sédimentaire de cette séquence se décline en trois périodes. Les alluvions Fy constituent le substrat. Un hiatus sédimentaire et temporel sépare les sédiments pléistocènes et holocènes. La sédimentation holocène connaît deux périodes principales : l'incision, puis le comblement des paléochenaux au Boréal et le colmatage de la plaine alluviale dans l'Holocène récent. Dans les deux cas, l'évolution de la dynamique sédimentaire est comparable. Le schéma débute par des écoulements très compétents à l'origine de surfaces érosives (incisions du Boréal – US 1003 du deuxième Holocène) puis l'énergie du milieu décroît. C'est alors qu'une sédimentation à dominante de plus en plus argileuse se met en place (US 1007 puis 1005 – US 1002).

Bibliographie

Bravard, Peiry 1999

Bravard J.-P., Peiry J.-L., « The CM pattern as a tool for the classification of alluvial suites and floodplains along the river continuum », *SP*, 163, 1, pp. 259-268.

Delrive 1993

Delrive C., *Méthode de cartographie de susceptibilité magnétique sur carottes de forages - mesures expérimentales pour la détermination de structures géologiques.*, (s.l., Université Pierre et Marie Curie - Paris VI).

DDT de Saône et Loire 2016

DDT de Saône et Loire, « La Loire et la formation de ses crues » [en ligne], URL : https://www.saone-et-loire.gouv.fr/IMG/pdf/loire_et_ses_crues.pdf [lien valide au 1 décembre 2022].

Foucault 2020

Foucault A., *Dictionnaire de géologie*, s.l. : Dunod.

Giosa 2020

Giosa A., *Les agrosystèmes antiques du Châtillonnais Approche archéopédologique de la mémoire des forêts dans les parcelles reconnues par télédétection LiDAR*, (s.l., Université Panthéon-Sorbonne).

Glais 2017

GLAIS A., *Interactions Sociétés-Environnement en Macédoine orientale (Grèce du Nord) depuis le début de l'Holocène.: Approche multiscalaire et paléoenvironnementale.*, (s.l., Université de Caen).

Hjulström 1935

Hjulström F., *Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the River Fyris*, (s.l., Uppsala University).

Makó et al. 2017

Makó A., Tóth G., Weynants M., Rajkai K., Hermann T., Tóth B., « Pedotransfer functions for converting laser diffraction particle-size data to conventional values: Conversion of particle-size distribution data », *Eur J Soil Sci*, 68, 5, pp. 769-782.

Mycielska-Dowgiałło, Ludwikowska-Kędzia 2011

Mycielska-Dowgiałło E., Ludwikowska-Kędzia M., « Alternative interpretations of grain-size data from Quaternary deposits », *Geologos* [en ligne], 17, 4, URL : <https://content.sciendo.com/doi/10.2478/v10118-011-0010-9> [lien valide au 1 décembre 2022].

Naganna et al. 2017

Naganna S. R., Deka P. C., Ch S., Hansen W. F., « Factors influencing streambed hydraulic conductivity and their implications on stream-aquifer interaction: a conceptual review », *Environ Sci Pollut Res*, 24, 32, pp. 24765-24789.

Passega 1957

Passega R., « Textures as characteristic of clastic deposition. », *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 9.

Passega 1964

Passega R., « Grain Size Representation by CM Patterns as a Geological Tool », *Journal of Sedimentary Research* [en ligne], 34, URL : <https://doi.org/10.1306/74D711A4-2B21-11D7-8648000102C1865D>.

Pinto Martins 2008

Pinto Martins D., *Aménagements hydroélectriques et impacts sur la dynamique des flux d'eau et de sédiments. Le cas du haut Paraná, Brésil.*, (s.l., Université Lumière Lyon 2).

Salomon 2013

Salomon F., *Géoarchéologie du delta du Tibre - Evolution géomorphologique Holocène et contraintes hydrosédimentaires dans le système Ostie-Portus* [en ligne], (s.l., Université Lumière Lyon 2), URL : http://theses.univ-lyon2.fr/documents/lyon2/2013/salomon_f/info.

Thirion-Merle 2014

Thirion-Merle V., « Spectrométrie de fluorescence X », in Dillmann P., Bellot-Gurlet L. (éd.), *Circulation et provenance des matériaux dans les sociétés anciennes* [en ligne], s.l. : Editions des archives contemporaines, pp. 291-298, URL : <https://eac.ac/articles/4103> [lien valide au 1 décembre 2022].

Vannière et al. 2000

Vannière B., Bossuet G., Gauthier E., « Susceptibilité magnétique et indices polliniques, marqueurs de l'impact anthropique et de la dynamique fluviale dans la basse vallée du Doubs (Jura, France) entre le Ier et le VIIIe siècles après J.-C. », *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science*, 331, 3, pp. 203-210.

Walter E. Dean, Jr. 1974

Walter E. Dean, Jr., « Determination of Carbonate and Organic Matter in Calcareous Sediments and Sedimentary Rocks by Loss on Ignition: Comparison With Other Methods », *SEPM JSR* [en ligne], Vol. 44, URL : <https://pubs.geoscienceworld.org/jsedres/article/44/1/242-248/96699> [lien valide au 7 août 2021].

Welden 2007

Welden A. V., *Enregistrements sédimentaires imbriqués d'une activité sismique et de changements paléoenvironnementaux. Etude de différents sites : Golfe de Corinthe (Grèce), Lac de Shkodra (Albanie/Monténégro) et Golfe de Cariaco (Vénézuéla).*, (s.l., Université de Savoie).

Documents non cités

- ❖ Baize D. (2021) – *Guide des analyses en pédologie*, p. 339.
- ❖ Baize D. (2021) – *Naissance et évolution des sols*, p. 163.

- ❖ GONNET A. (2017) – *Du plateau au fond de vallée: apport de l'étude de trois sites archéologiques à la compréhension des dynamiques géomorphologiques holocènes en Normandie*, Université de Rouen, 491 p.
- ❖ Frouin M. (2007) – *Enregistrement sédimentaire des facteurs de contrôle (globaux, régionaux et locaux) sur l'évolution holocène des géosystèmes du Marais Vernier et de la Basse Vallée de Seine dans le cadre de l'Europe du NW*, Université de Rouen, Thèse de doctorat, 256 p.
- ❖ Sechi-Sapowicz S. (2012) – *Les archives sédimentaires témoins des phases d'érosion*, Université de Rouen, Thèse de doctorat, 456 p.

❖ Liste des rapports utilisés :

Kildea et al. 2019

KILDEA F., AVEC LA COLLABORATION DE FAYÇAL BEN NEJMA M. C. Nathalie Daviaud. ... [et al. J., KILDEA FIONA, DI NAPOLI FRANCESCA, GARDERE PHILIPPE, ROBERT GAËLLE, BARBIER-PAIN DELPHINE, BRAGUIER SEVERINE, LUSSON DOROTHEE, ROBIN BORIS, BEN NEJMA FAYÇAL, CUNAULT MATHIAS, DAVIAUD NATHALIE, PICHON ISABELLE, ROUBAUD LEA, TRICOIRE JEROME, *Villedieu-sur-Indre, « Chétifs Prés » et « Grand Saint-Bonnet » : Occupations laténiennes de fond de vallée et paléoenvironnement Boréal : Centre-Val de Loire : rapport de diagnostic*, Pantin : Inrap CIF.

Annexe 6

Etude carpologique

Rapport d'évaluation carpologique

B. Pradat

Un prélèvement effectué en colonne dans la tourbière (sondage 3 US 1006) nous a été confié pour en évaluer les potentiels carpologiques.

Ce prélèvement a été tamisé par l'équipe de fouille sur des cribles de mailles 2 et 0,5 mm. Les résidus de tamis ont été conservés dans l'eau. Nous avons examiné sous loupe binoculaire l'équivalent de 0,5 litres de sédiment.

Le prélèvement n'est pas très riche en carporestes mais possède néanmoins quelques restes conservés par imbibition. Dans le cadre de l'évaluation, les restes carpologiques n'ont pas été dénombrés. Plusieurs semences de plantes sauvages ont pu être mises en évidence :

- Les laïches (*Carex* sp.) et le rubanier rameux (*Sparganium ramosum*) et le potamot (*Potamogeton* sp.) sont des plantes qui se développent dans les milieux humides. Le rubanier pousse dans des eaux stagnantes ou faiblement courantes. Il est semi-aquatique.
- Le sureau noir (*Sambucus nigra*), espèce arbustive, peut croître en bord de rivière, en lisières forestières, dans des haies ou encore sur des décombres.
- La carotte sauvage (*Daucus carotta*) est une plante ubiquiste, c'est-à-dire qu'elle n'affectionne pas particulièrement un milieu mais se développent en divers endroits tels les friches, les prairies, les bords de chemin.

La détermination des autres taxons n'est pour l'heure pas assez aboutie pour en tirer de réelles informations.

La poursuite de l'étude permettra de mieux appréhender la végétation de ce milieu de tourbière et de son environnement très proche.

Annexe 7

Etude anthracologique

Rapport d'évaluation anthracologique

Sylvie Coubray

Un prélèvement effectué en colonne dans la tourbière (sondage 3 US 1006) nous a été confié pour en évaluer le potentiel anthracologique.

Le prélèvement ne contient aucun reste carbonisé mais uniquement des restes de matériel ligneux gorgé d'eau.

Identification taxinomique

La même méthode d'identification est appliquée quel que soit le mode de conservation du bois: gorgé d'eau ou carbonisé. Chaque taxon a été identifié anatomiquement sous un microscope aux grossissements x50, x100, x200, x400. L'anatomie du bois est observée en microscopie à réflexion, et comparée à des atlas (Schweingruber 1982; 1990) et à des collections de bois actuels de référence. Pour ce faire, des coupes transversales, radiales et tangentielles sont réalisées. Afin d'accélérer le processus d'identification sur les bois gorgés d'eau, le fragment prélevé est essoré quelques minutes sur un papier absorbant, ou à l'aide d'une flamme, afin d'atteindre le degré de dessiccation idéal qui vide les espaces cellulaires de leur eau libre selon la méthode préconisée par Chabal et Feugère (2005). Certains détails (tels les épaisissements spiralés des vaisseaux) sont plus difficiles à observer que lorsque des lames minces sont réalisées sur les objets.

Résultats

Le matériel est composé essentiellement de restes d'écorces et de fragments de bois, parfois de petit diamètre, mal conservés dont l'identification ne peut aller au-delà d'une appartenance aux angiospermes (feuillus).

Bibliographie

CHABAL & FEUGERE 2005

Chabal L., Feugère M. - Le mobilier organique des puits antiques et autres contextes humides de Lattara. G. Piquès, R. Buxo'. Onze puits gallo-romains de Lattara (Ier s. av. n. è. - IIe s. de n. è.). Fouilles programmées 1986-2000, 18, ADAL, pp.137-188, 2005, Lattara.

SCHWEINGRUBER 1982

Schweingruber F.H. - Anatomie microscopique des bois, Teufen, Kommissionsverlag, F. Flück-Wirth, 226 p.

SCHWEINGRUBER 1990

Schweingruber F.H. - Anatomie europäischer hölzer, Anatomie of european woods, Bern und Stuttgart, Verrlag Paul Harept, 800 p.

Annexe 8

Etude entomologique

Rapport d'évaluation entomologique

Jérémy Rollin

1. Méthodes :

1.1. Le tamisage :

Le tamisage a concerné les échantillons de l'US 1006 - **VD1**

Afin de garantir une bonne conservation des vestiges entomologiques et ne pas les fragmenter, les prélèvements ont d'abord été tamisés par flottation avec un tamis de maille 200 µm. La matrice sableuse ou trop lourde pour être en suspension dans l'eau a ensuite été passée sous jet avec ce même tamis.

1.2. Extraction de la fraction entomologique

En raison de la quantité importante de restes organique (graines, bois) dans les refus de tamis, de la taille réduite des vestiges entomologiques et de leur nombre, leur extraction a nécessité le recours à la flottation au pétrole (Coope, 1986), méthode décrite ci-après :

Les nombreux restes organiques qui constituent le refus de tamis ont été placés dans un récipient contenant de l'eau froide auquel a été ajouté du pétrole désaromatisé. Après une phase de décantation d'une quinzaine de minutes à une heure, la fraction entomologique imbibée d'un film d'hydrocarbure remonte en surface et est séparée de la fraction végétale qui se dépose au fond du récipient.

Les restes d'insectes sont récupérés sur le même tamis de 200 µm, puis lavés à l'aide d'un détergent et rincés à l'alcool.

Une fois lavés, les sclérites sont triés sous une loupe binoculaire, puis conservés dans des tubes contenant du Méthylparaben dilué à 0,15 %.

1.3. Méthode d'identification et de quantification

Leur détermination a été réalisée par comparaison directe sous loupe binoculaire avec des spécimens actuels, appartenant à ma collection, celle du MNHN et à partir des classiques *Faunes de France* de Jeannel, de leur complément récent par Coulon *et al.* et de plusieurs catalogues départementaux ou régionaux.

Pour les grands groupes phytophages (charançons, chrysomèles), les travaux de Hoffmann (1950-1958), Balachowsky (1949) et Doguet (1994) ont aussi été consultés.

Les nomenclatures utilisées suivent le Code International de Nomenclature Zoologique. Lorsque l'espèce n'était pas déterminable, mais laisse supposer l'appartenance à un genre précis, elle a été notée Genus cf. species probable ou est rapportée au niveau d'identification par Ordre (-ptera), Sous-ordre (-Era), Infra-Ordre (-Morpha), Super famille (-oidea), famille (-idea) Sous-Famille (inae) et Tribu (-ini).

Les critères d'identification des restes d'insectes sont d'ordre morphologique (forme, taille...) et l'ornementation (stries, tubercules, ponctuations, réticulation, squamules, pilosité) (Pécéréaux, 2007). La couleur n'est que partiellement prise en compte, notamment en cas de contexte humide comme ici. En effet, les vestiges ayant été conservés longtemps en milieu aquatique sont susceptibles de montrer des modifications chromatiques, notamment les espèces à reflets métallisés. En se rétractant sur elles-mêmes lors du séchage, le resserrement et la déformation des cellules composant la chitine réfractera alors la lumière différemment que d'ordinaire.

Les résultats sont présentés par prélèvement, en nombre de restes, nombre de restes déterminé (NRD) et nombre minimum d'individus (NMI), les espèces étant classées au regard de la taxonomie en rigueur. Si la latéralisation d'un reste est impossible, il est comptabilisé comme « fragment ». Ce choix présente l'avantage de ne pas augmenter le NMI.

La simplicité de ce traitement de données présente l'avantage de ne pas surreprésenter les taxons par de très petits fragments, même si cela risque de modifier l'image du spectre faunique. Vouloir reconstituer les individus à partir des pièces anatomiques serait hasardeux. Toutefois, lorsque des fragments étaient en connexion, j'ai maintenu la valeur 1 pour le NMI. À l'inverse, lorsqu'un taxon n'était représenté que par des restes fragmentés, j'ai fixé le NMI à 1. Ce choix a pour conséquence de sous-estimer l'abondance de l'espèce dans le milieu, mais tend à accentuer l'abondance des espèces rares ou d'intérêt écologique et à minimiser les espèces les plus représentées.

Les insectes, notamment les coléoptères, présentent des exigences écologiques très précises, qui sont propres à chaque espèce. Ils sont donc de bons bio-indicateurs et permettent de reconstruire les paléoenvironnements avec une haute précision.

En France, il existe près de 11 000 espèces de coléoptères recensées actuellement. Toutes sont adaptées à une diversité d'habitats très variés. Bien qu'il soit délicat de placer une espèce dans une catégorie environnementale déterminée, pour le site de Montplaisir, six catégories ont été retenues afin de mieux entrevoir les caractéristiques de chaque prélèvement : Aquatique (A), Forestier (F), Environnement ouvert (O), Coprophile (C), Synanthrope (S) et Xylophage (X). Beaucoup d'espèces n'ont pu être affectées à ces catégories, par exemple lorsque

l'identification n'a pas pu être conduite à l'espèce, lorsqu'elles étaient ubiquistes ou quand ces dernières ne relevaient d'aucunes ou pas strictement de l'une de ces grandes catégories.

2. Résultats préliminaires

Les premières observations ont permis de mettre en évidence la présence de plusieurs sclérites d'insectes. Toutefois, le taux de fragmentation important ne permettra pas, dans la plupart des cas, une identification à un niveau taxonomique élevé (Fig.1).

Sur les sclérites les mieux conservés (Fig.2), les premières identifications au genre ou à la famille ont permis de mettre en évidence la présence de :

- Phytophages tels que des Chrysomelinae, Donacinae, Elateridae : *Ampedus* sp. (Fig. 3) ou encore Curculionidae
- Des espèces aquatiques : Dryopidae : *Dryops similaris* (Fig.4), Elaphoridae.
- Des Carabidae : *Bembidion* sp. et *Elaphorus cupreus* (Fig.5).

Cette étude succincte permet, grâce au caractère bio-indicateur de ces taxons de mettre en évidence l'environnement forestier et humide qui devait régner à l'époque du dépôt.

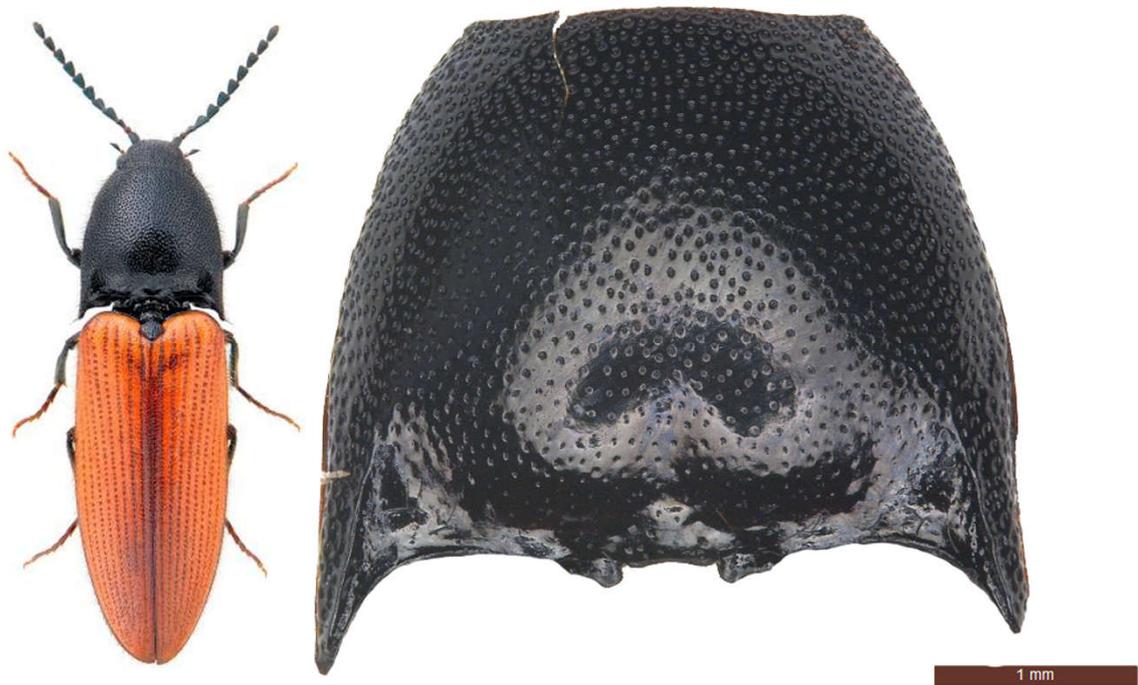
Fig. 1 Vestige Fragmenté non déterminé



Fig. 2 Vestige de Curculionidae non déterminé



Fig. 3 Insecte forester *Ampedus* sp. (cf: *cinnabarinus*)



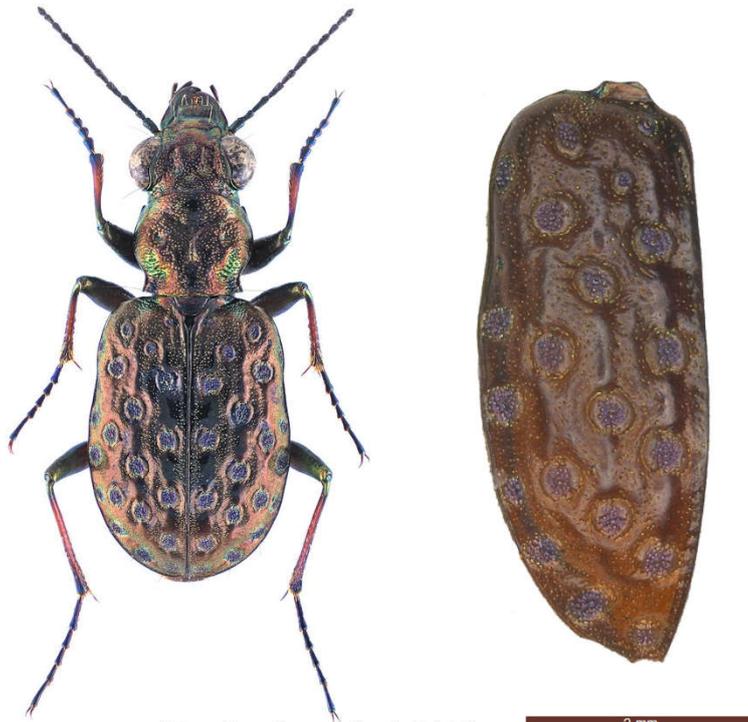
Ampedus sp. (cf: *cinnabarinus* (Eschscholtz, 1829))

Fig. 4 Insecte aquatique *Dryops similaris*



Dryops similaris (Bollow, 1936)

Fig. 5 Insecte hygrophile *Elaphrus cupreus*



Elaphrus cupreus (Duftschmid, 1812)

3. Résultats préliminaires

Eu égard au temps alloué à cette étude préliminaire et bien que la plupart des vestiges ne puissent pas être déterminés à l'espèce, les résultats issus des observations présentées sont très encourageants, notamment en raison du temps d'enfouissement des vestiges. En effet, les vestiges entomologiques sont porteurs d'informations concernant non seulement l'évolution de la biodiversité et des environnements, mais aussi celle de l'usage que l'homme en faisait à des fins économique (production de sel, pâturage d'animaux, agriculture), sociale ou symbolique.

Ces résultats montrent la nécessité de poursuivre cette étude en corrélation avec d'autres données bio archéologiques et géologiques.

Annexe 9

Prospection magnétique

Rapport d'intervention

Analyse Géophysique Conseil

Oppidum du camp de César Villedieu-sur-Indre (36)

Rédacteur Rapport	Bastien Gouhier	Ingénieur archéophysicien bastien.gouhier@analyse-gc.com
Date	Octobre 2022	
Mandataire	Francesca Di Napoli	
Projet	Approche multiscalaire des dynamiques environnementales et anthropiques de la moyenne vallée de l'Indre	
Ref. Devis	464AR175	
Validation	Gabriel Caraire	
Version	V 1.0	

Table des matières

I - Cadre d'intervention	1
II - Mesures de gradient magnétique	3
II.I - Principe et matériel	3
II.II - Traitement des données et création des cartes	5
II.III - Note sur les interprétations magnétiques	5
III - Résultats	7
III.I - Analyse des données magnétiques	7
III.II - Interprétation	9
III.II.I - Le rempart	9
III.II.II - Les bâtiments sur poteaux	12
IV - Conclusion	14

Table des illustrations

Figure 1: Carte de situation.....	1
Figure 2: Principe d'acquisition et d'interprétation des données de gradient magnétique	4
Figure 3: MXPDA en version cinq sondes.....	4
Figure 4: Carte des anomalies magnétiques.....	7
Figure 5: Carte du gradient magnétique vertical.....	8
Figure 6: Tracé du rempart d'après G. Coulon.....	9
Figure 7: Interprétation des anomalies correspondant au rempart et sa porte sud.....	10
Figure 8: Exemple de portes à ailes rentrantes : A – Porte nord de l' <i>oppidum</i> de Vernon B – Porte nord-est du « Camp d'Artus ».....	11
Figure 9: Bâtiments sur poteaux	13

CADRE D'INTERVENTION

Dans le cadre de la prospection thématique, menée par Francesca Di Napoli, sur la moyenne vallée de l'Indre, la société AGC est intervenue pour la réalisation d'une prospection magnétique sur le site du Camp de César à Villedieu-sur-Indre. Ces recherches portent sur les dynamiques environnementales et anthropiques de la vallée en mobilisant tout un panel de méthodes : prospections pédestres, prospections géophysiques, analyse des données LiDAR et carottages géologiques. L'objectif de l'intervention était de caractériser le site fortifié du camp de César, aussi dénommé *oppidum* du camp de César en raison d'une occupation laténienne déjà identifiée. Le site se situe à l'extrémité ouest d'un plateau s'élevant à plus de 35 m au-dessus du niveau de la vallée de l'Indre. Une partie des remparts est encore marquée dans le paysage et le mobilier recueilli en prospection pédestre évoque plusieurs périodes d'occupation, du néolithique au Bas-Empire.

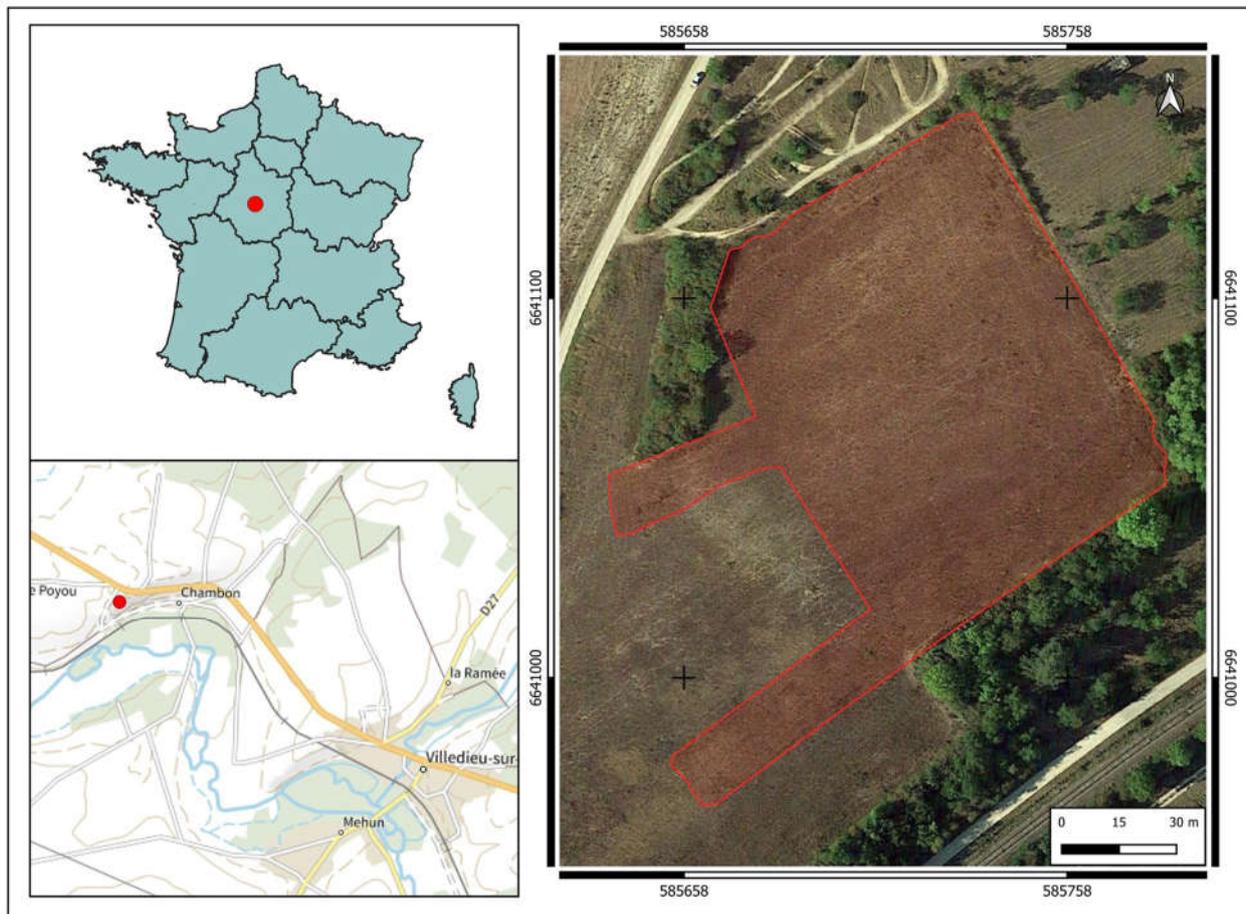


Figure 1: Carte de situation

Pour la prospection, c'est la méthode magnétique qui a été choisie par les archéologues en raison de la nature des structures supposées (trou de poteau, fosse, rempart, fossé) ainsi que de la facilité de mise en œuvre du matériel en raison du dénivelé du terrain. La mission s'est déroulée le 16 septembre 2022 en présence de plusieurs membres de l'équipe scientifique. La surface prospectée est de l'ordre d'un hectare.

MESURES DE GRADIENT MAGNETIQUE

Principe et matériel

Cette méthode permet de mesurer les variations du champ magnétique terrestre (CMT). Le CMT est la somme de plusieurs influences : le champ magnétique solaire, le champ magnétique interne (lié au noyau terrestre), le paléomagnétisme (lié aux roches) et l'archéomagnétisme (lié à l'action de l'homme). Le principe de gradient magnétique consiste à mesurer le champ en deux points espacés verticalement d'un mètre afin de s'affranchir des variations de grande longueur d'onde et de ne garder que les variations les plus fines, liées à l'occupation humaine.

Cette mesure est très sensible aux objets magnétiques (objets ferreux). Elle permet donc de discriminer principalement la présence de métal, les concentrations en minéraux argileux, souvent en plus grande concentration dans les fosses et fossés, ou bien encore les éléments chauffés (céramiques, foyers, etc.). Le champ magnétique lié à la présence de métal ou de structure de chauffe étant dipolaire, ces éléments sont marqués par des signaux doubles, positifs et négatifs sur les cartes (noir et blanc). La Figure 2 vulgarise le processus de levé de gradient magnétique.

La prospection a eu lieu à l'aide du système MXPDA (cf. Figure 3) de la société Sensys qui présente plusieurs avantages, à savoir sa stabilité et sa précision (de l'ordre de $\pm 0,05$ nT). Le système se compose d'un chariot amagnétique supportant un ensemble de cinq sondes réalisant les mesures. Celles-ci sont espacées de 25 cm et réalisent une mesure tous les 15 cm à l'avancement, soit environ 25 points de mesures au mètre carré.

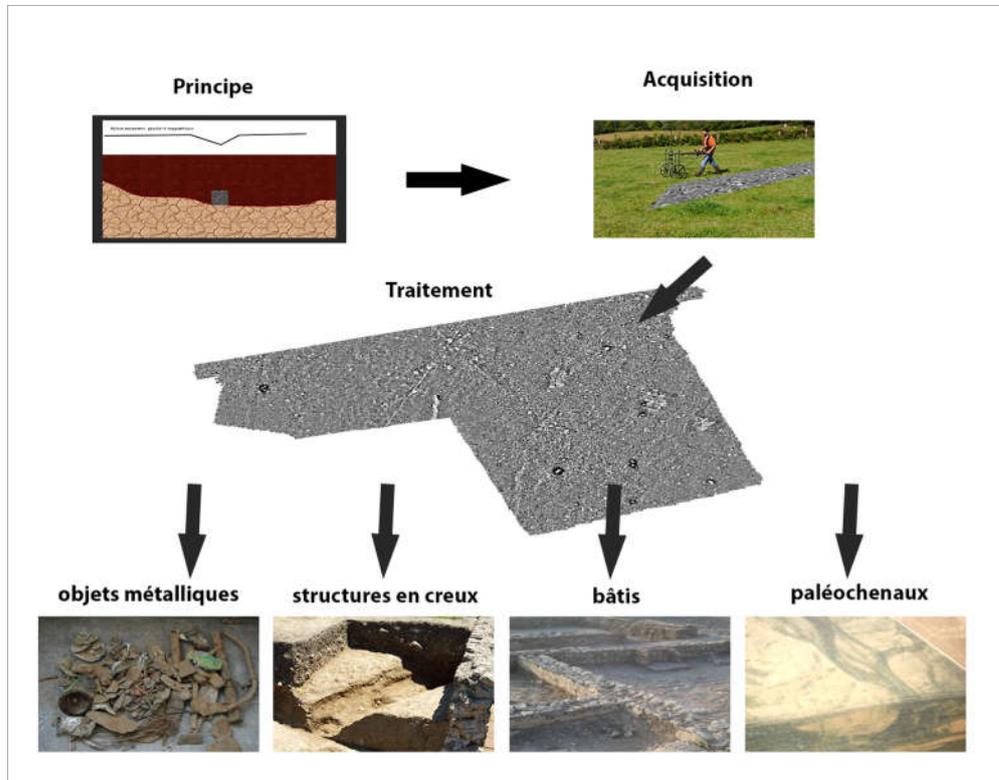


Figure 2: Principe d'acquisition et d'interprétation des données de gradient magnétique



Figure 3: MXPDA en version cinq sondes

Traitement des données et création des cartes

Les mesures de gradient magnétique sont tout d'abord centrées sur 0 pour observer les variations locales, en soustrayant à chaque profil, sa valeur médiane. Les données ont ensuite été interpolées pour le rendu cartographique. Cette procédure a été réalisée via un algorithme de type « moindres carrés polynomiaux » d'ordre 1, avec pour paramètre une ellipsoïde de recherche de 2 m de rayon, pour une taille de pixel de 0,25 m. La grille ainsi obtenue a subi, enfin, un filtre de type « passe-bas » pour diminuer le bruit sur les mesures.

Note sur les interprétations magnétiques

Les interprétations développées dans ce chapitre se basent sur le pointage des variations du champ magnétique terrestre, révélées par la carte de gradient magnétique. Ces anomalies ont été regroupées en fonction de leur forme et de leur étendue. Ce pointage est subjectif et pourra être discuté avec l'archéologue. Il est décrit, dans le détail, dans le tableau de classification suivant (Tableau 1).

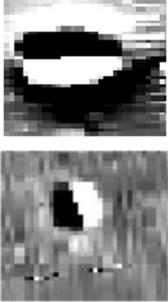
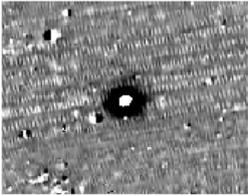
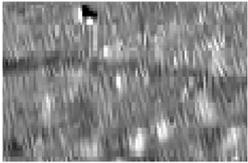
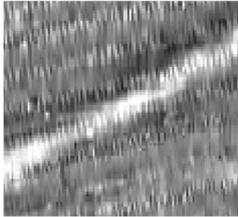
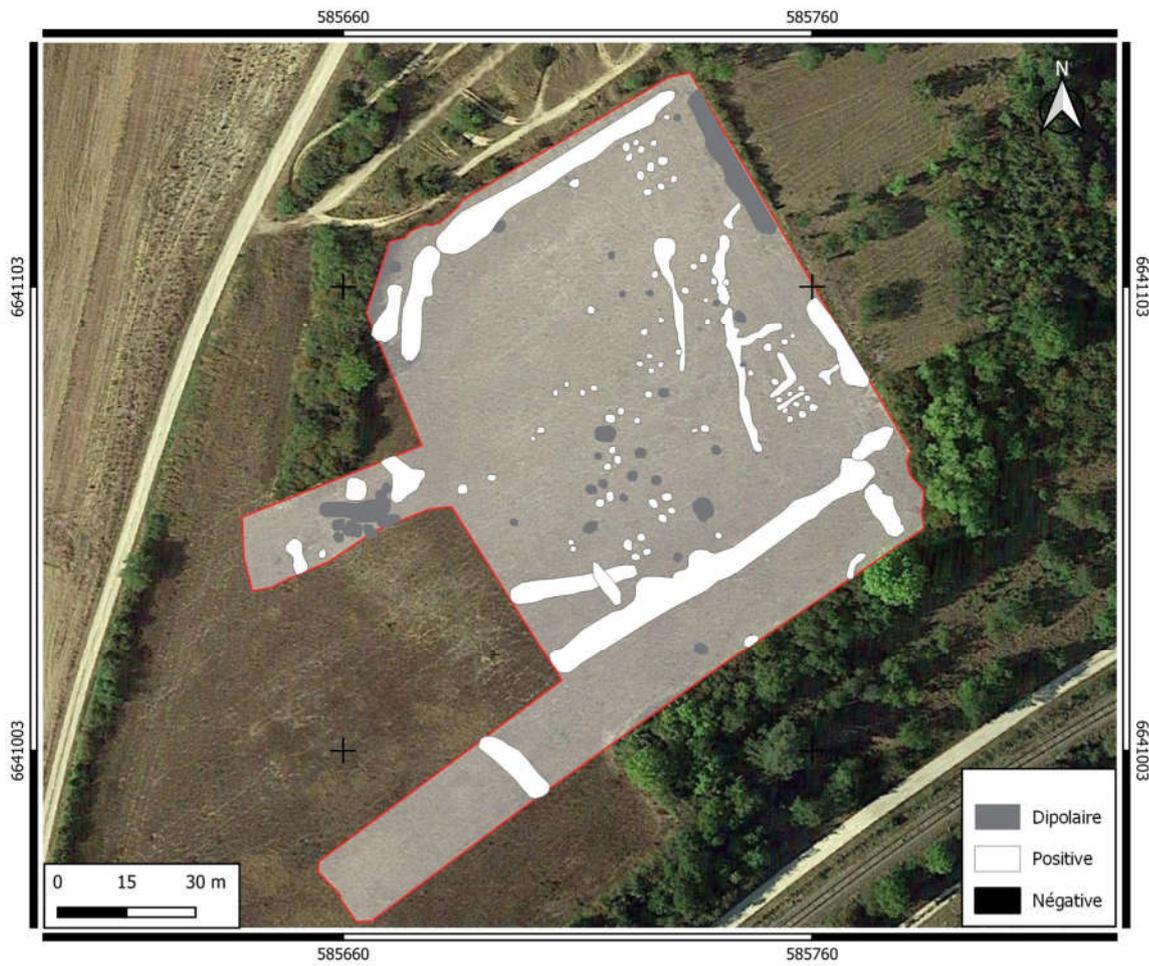
Type d'anomalie	Caractéristiques	Exemple
Dipolaire	<p>Les anomalies « dipolaires » présentent de fortes variations du CMT, associant gradient positif et gradient négatif (noir et blanc sur la carte).</p> <p>La difficulté à définir leur étendue exacte et le fait qu'elles soient souvent le reflet d'objets isolés nous ont conduit à les considérer comme ponctuelles. Le pointage de l'anomalie ne correspond pas à la position réelle de l'objet, mais au centre de l'anomalie qu'il génère.</p>	
Ponctuelle	<p>Les anomalies « ponctuelles » représentent des variations très locales du CMT dont le gradient est purement positif, ou négatif. Elles se distinguent des anomalies dipolaires par ce critère.</p>	
Linéaire	<p>Les anomalies « linéaires » sont des anomalies, comme leur nom l'indique, de grandes longueurs et de faibles largeurs.</p>	
Zonale	<p>Les anomalies « zonales » sont des anomalies de grande extension spatiale. Elles sont souvent en lien avec la géomorphologie ou la géologie.</p>	

Tableau 1: Classification des anomalies (les exemples de cartes sont donnés avec une échelle noire (gradient négatif) / blanc (gradient positif))

RESULTATS

Analyse des données magnétiques

La carte du gradient magnétique vertical présente un nombre important d'anomalies magnétiques définissant des zones clé pour la compréhension du site (Figure 4). On retrouve des anomalies zonales positives au nord, au sud et à l'est du secteur prospecté. Ces dernières se situent principalement au niveau des ruptures de pente et des marqueurs topographiques, en lien principalement avec le rempart arasé. A l'ouest, où le tracé de ce dernier n'a pas pu être couvert entièrement, on identifie néanmoins certaines importantes anomalies reprenant la même orientation. Notamment, un groupe d'anomalies dipolaires sont identifiés au niveau à l'emplacement supposé du rempart (Figure 4). Sur le replat, on identifie plus d'une centaine d'anomalies ponctuelles positives et dipolaires. On les retrouve principalement dans la partie est du site. Parmi ces dernières, quelques anomalies linéaires positives se dégagent.



Carte des anomalies magnétiques

Figure 4:

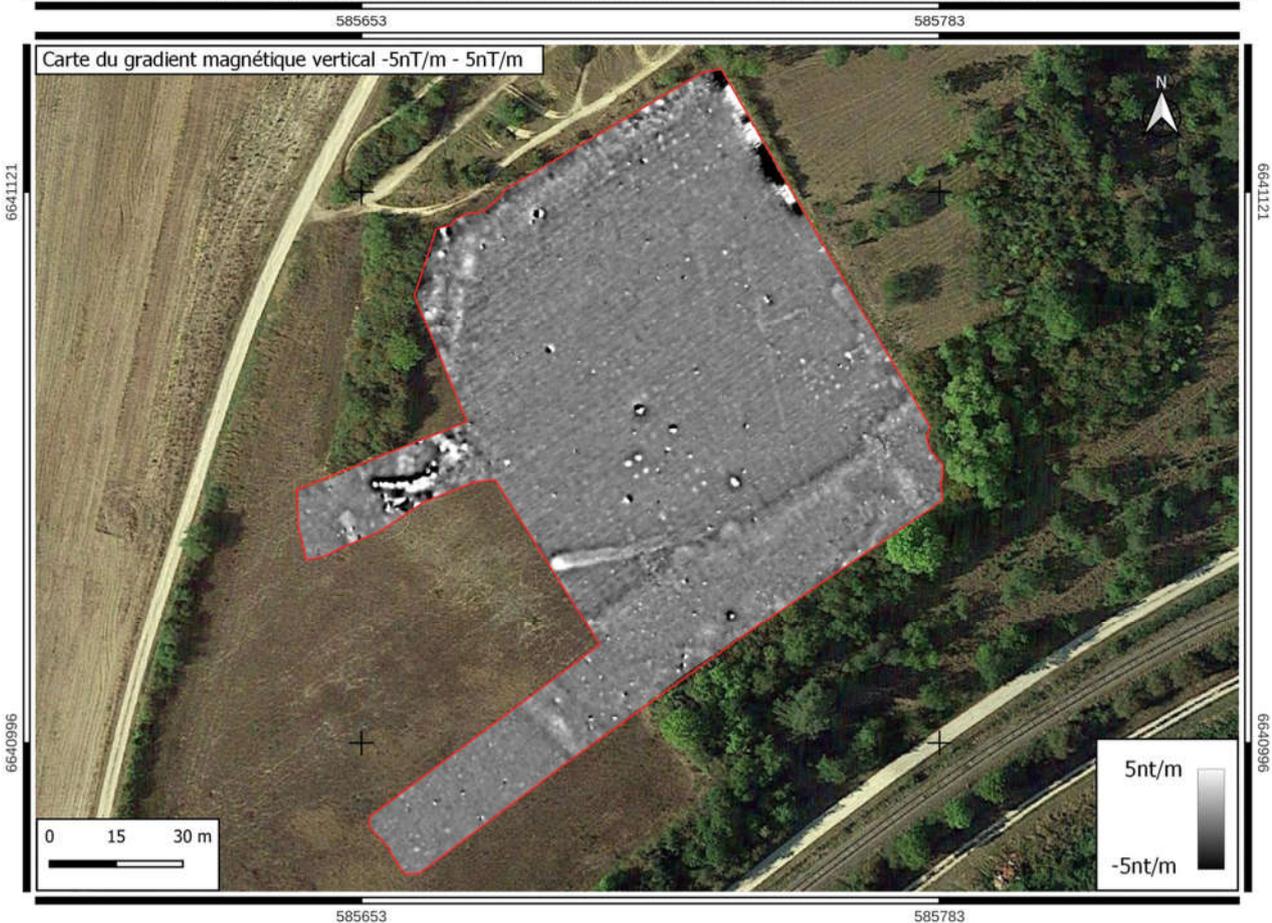
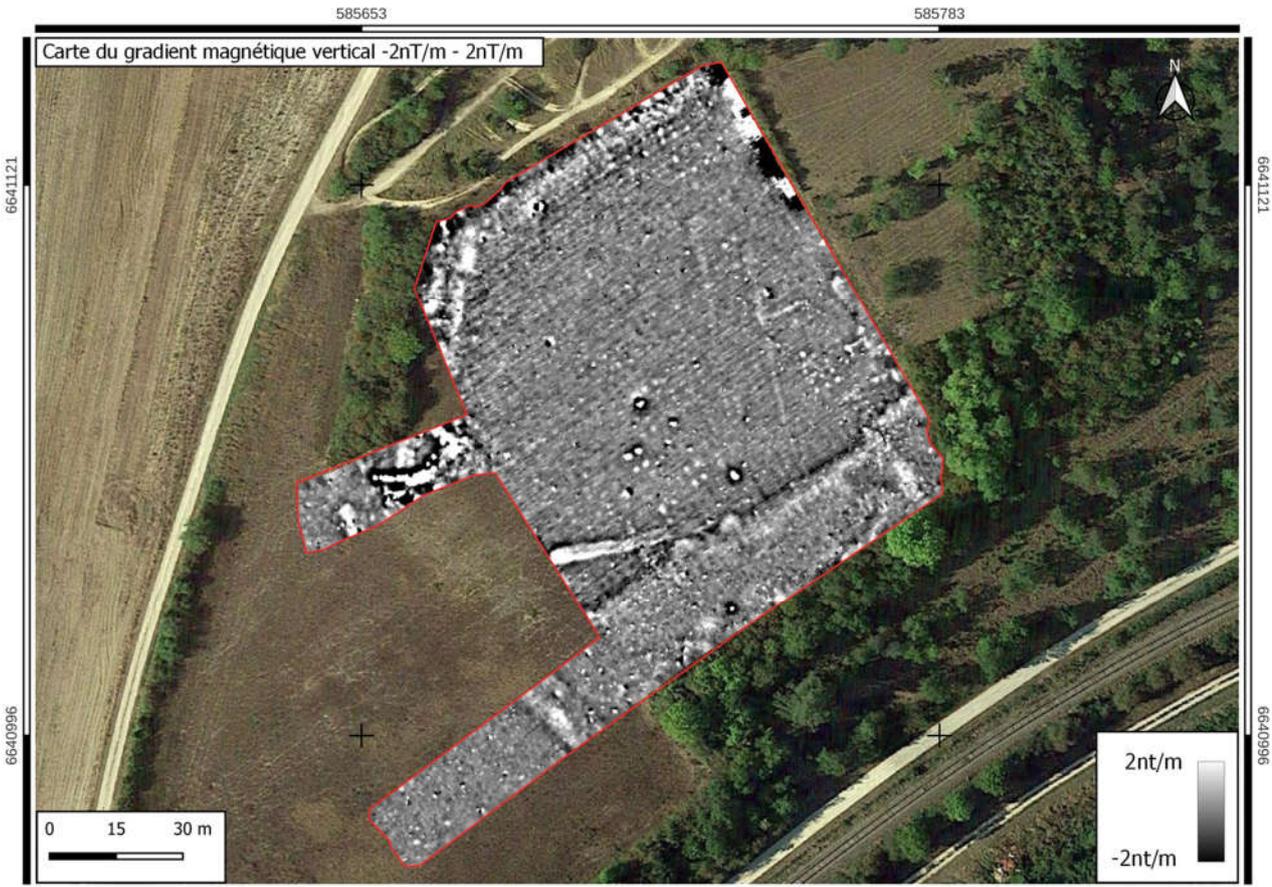


Figure 5: Carte du gradient magnétique vertical

Interprétation

Le rempart

Un premier tracé du rempart de l'*oppidum* du Camp de César a déjà été décrit par Gérard Coulon, principalement à l'aide des photographies aériennes et des anomalies topographique de terrain (AUDOUX, COULON). Il est décrit comme un rempart quadrangulaire, orienté nord-est / sud-ouest, dont le côté sud-ouest (noté B). Un fossé vient enserrer le rempart directement au pied des fortifications. Exception faite sur le pan sud-ouest (noté C) où l'on trouve une plateforme (noté 1) entre le rempart et le fossé.

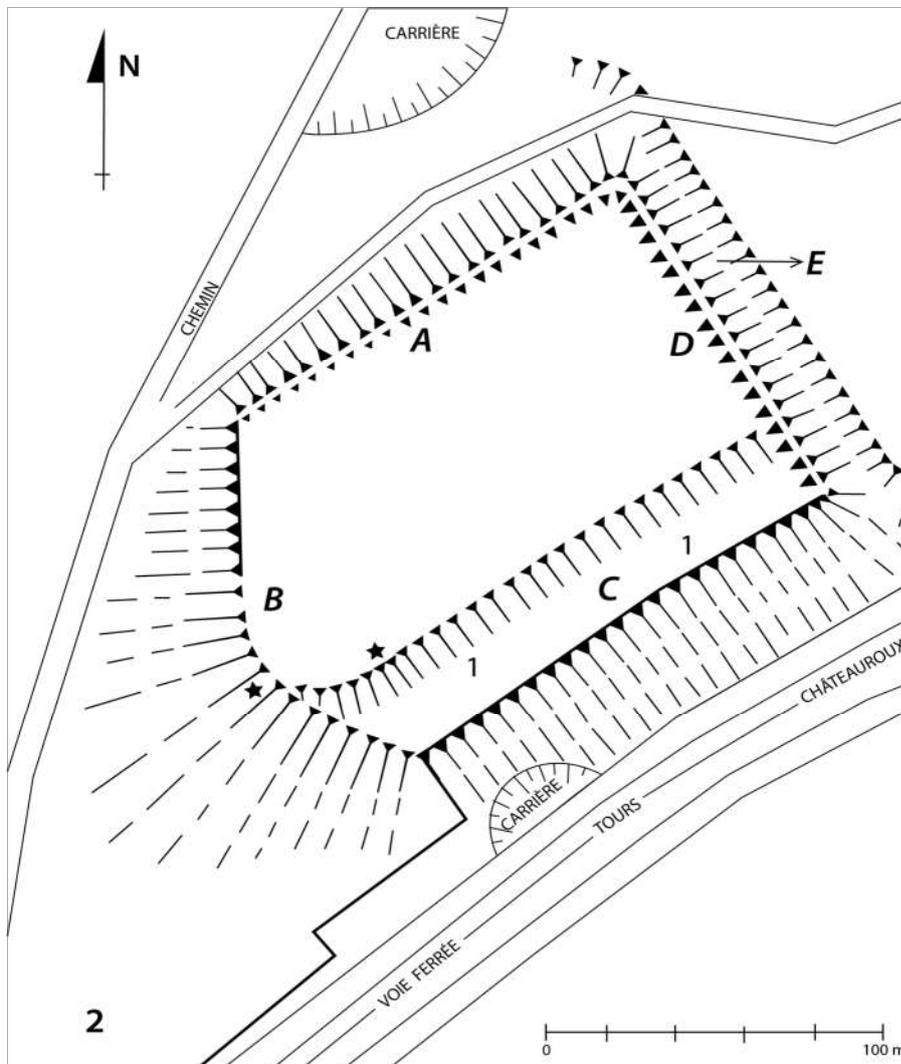


Figure 6: Tracé du rempart

d'après G. Coulon

Les prospections magnétiques viennent ici compléter le plan et apporter des informations complémentaires notamment sur les entrées de l'*oppidum*. Au nord et au sud (côté A et C), le rempart apparaît de façon distincte (Figure 7). Le côté ouest (noté B) n'a pas été complètement prospecté, mais on identifie bien le début de l'arrondi au nord (Figure 7). Dans sa portion plus au sud, on trouve un important amalgame d'anomalies dipolaires qui tranche avec les autres anomalies du rempart. Il est difficile d'identifier s'il s'agit d'une structure particulière de la fortification ou bien une pollution moderne. Seule une prospection exhaustive dans la zone pourrait permettre de trancher la question. Enfin d'importantes anomalies ont été détectées plus en avant du rempart notamment les anomalies n°51, 59 et 92 (Figure 7). Elles pourraient correspondre à une extension de la fortification ou bien

d'un état différent de cette dernière.

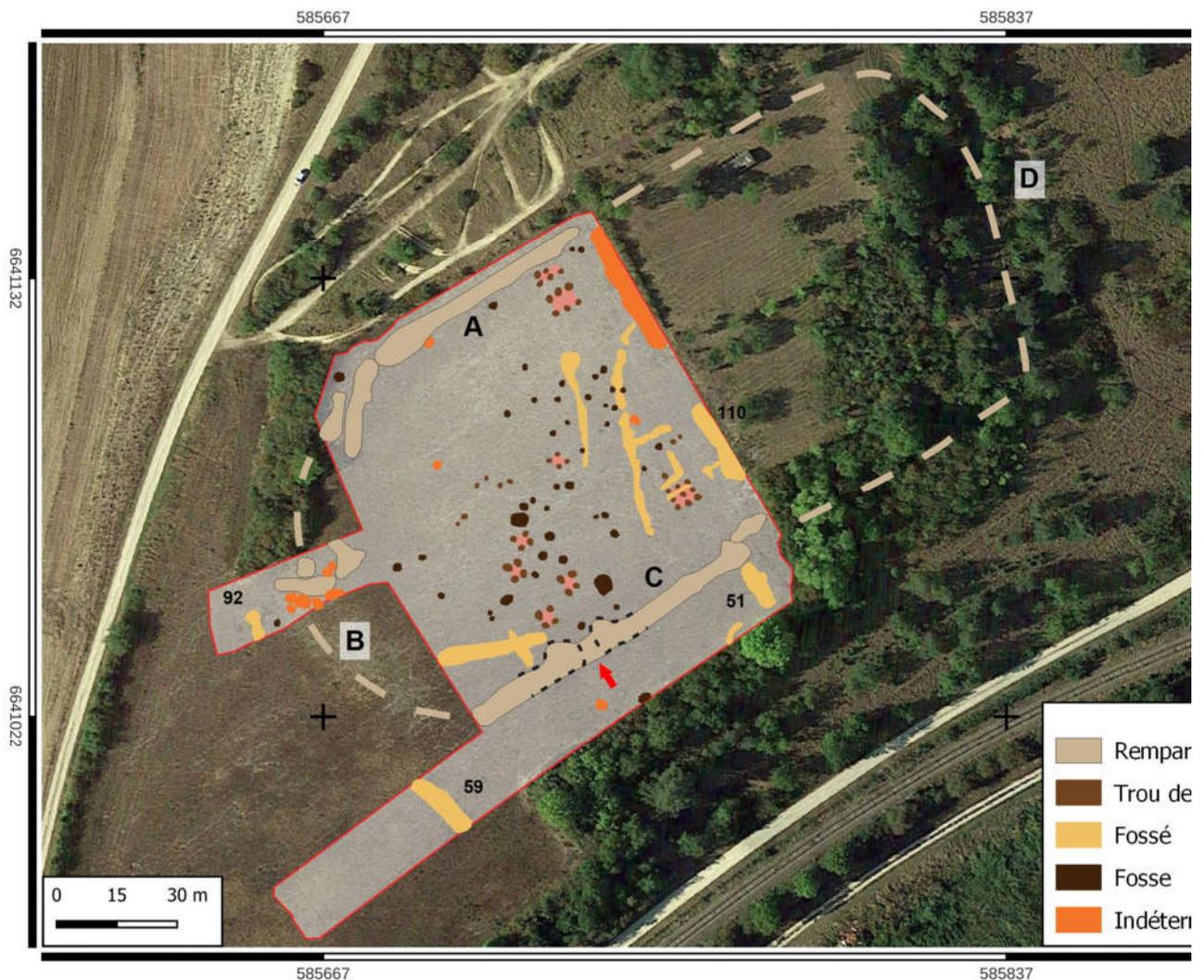


Figure 7: Interprétation des anomalies correspondant au rempart et sa porte sud

Seul le côté oriental (noté D) est hors emprise de la prospection géophysique. On note des anomalies à la limite est de la parcelle prospectée (Figure 7). Les anomalies dipolaires correspondent à une barrière métallique alors que l'anomalie positive n°110 pourrait correspondre à un partitionnement interne de l'*oppidum*.

L'une des découvertes inédites de la prospection est la mise en évidence d'une porte monumentale sur le flan sud-ouest du rempart (Figure 7). Cette entrée est matérialisée par deux structures semi-

circulaires, dont l'arrondie se trouve à l'intérieur du camp. On estime une espace compris entre 4 et 6 m entre les deux flancs de l'entrée. Il peut être qualifié d'un système d'entrée à ailes rentrantes. Comme première comparaison nous pouvons évoquer la porte nord de l'*oppidum* de Vernon dans le département de l'Eure ou bien la porte nord-est du « Camp d'Artus » à Huelgoat dans le Finistère (DECHEZLEPRETRE 2010). Si plusieurs trous de poteaux sont bien identifiés à l'intérieur du camp, aucun ne semble apparaître au niveau de l'entrée sud du Camp de César.

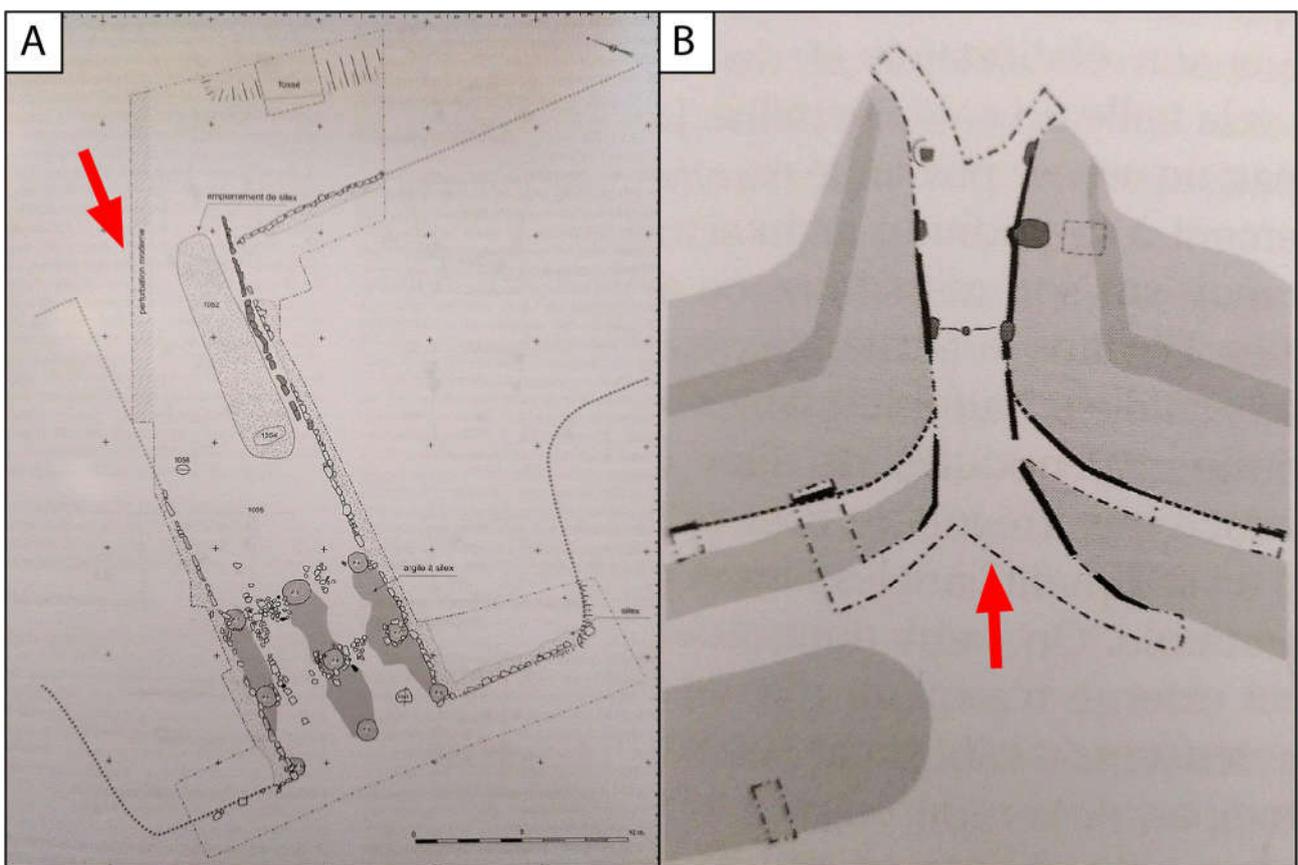


Figure 8: Exemple de portes à ailes rentrantes :

A – Porte nord de l'*oppidum* de Vernon

B – Porte nord-est du « Camp d'Artus »

Les bâtiments sur poteaux

Une cinquantaine d'anomalies positives ou dipolaires sont interprétées comme des trous de poteaux. Ils sont qualifiés ainsi, car ils respectent un schéma d'organisation géométrique en nombre précis : deux, quatre, six ou neuf. On distingue huit bâtiments répartis principalement au sud et à l'est du

camp. On distingue deux types de bâtiments :

- les petits bâtiments à quatre poteaux porteurs dont les surfaces sont comprises entre 10 et 12 m²
- les grands bâtiments à six ou neuf poteaux porteurs dont les surfaces sont comprises entre 14 et 38 m²

Il reste difficile d'établir la fonction de ces bâtiments avec les simples informations géophysiques que nous ayons. Néanmoins il est plus probable que les petits bâtiments correspondent à des structures de stockage comme des greniers et que les bâtiments plus importants soient dédiés à l'artisanat ou l'habitat. A noter que la surface ne comprend que l'emprise des trous de poteaux, en cas de parois déportées les bâtiments peuvent être bien plus grands.

Nom	Nombre de poteaux	Surface
B1	4	10 m ²
B2	4	10 m ²
B3	4	11 m ²
B4	4	12 m ²
B5	4	8 m ²
B6	9	30 m ²
B7	6	28 m ²
B8	6 ?	14 m ² ?

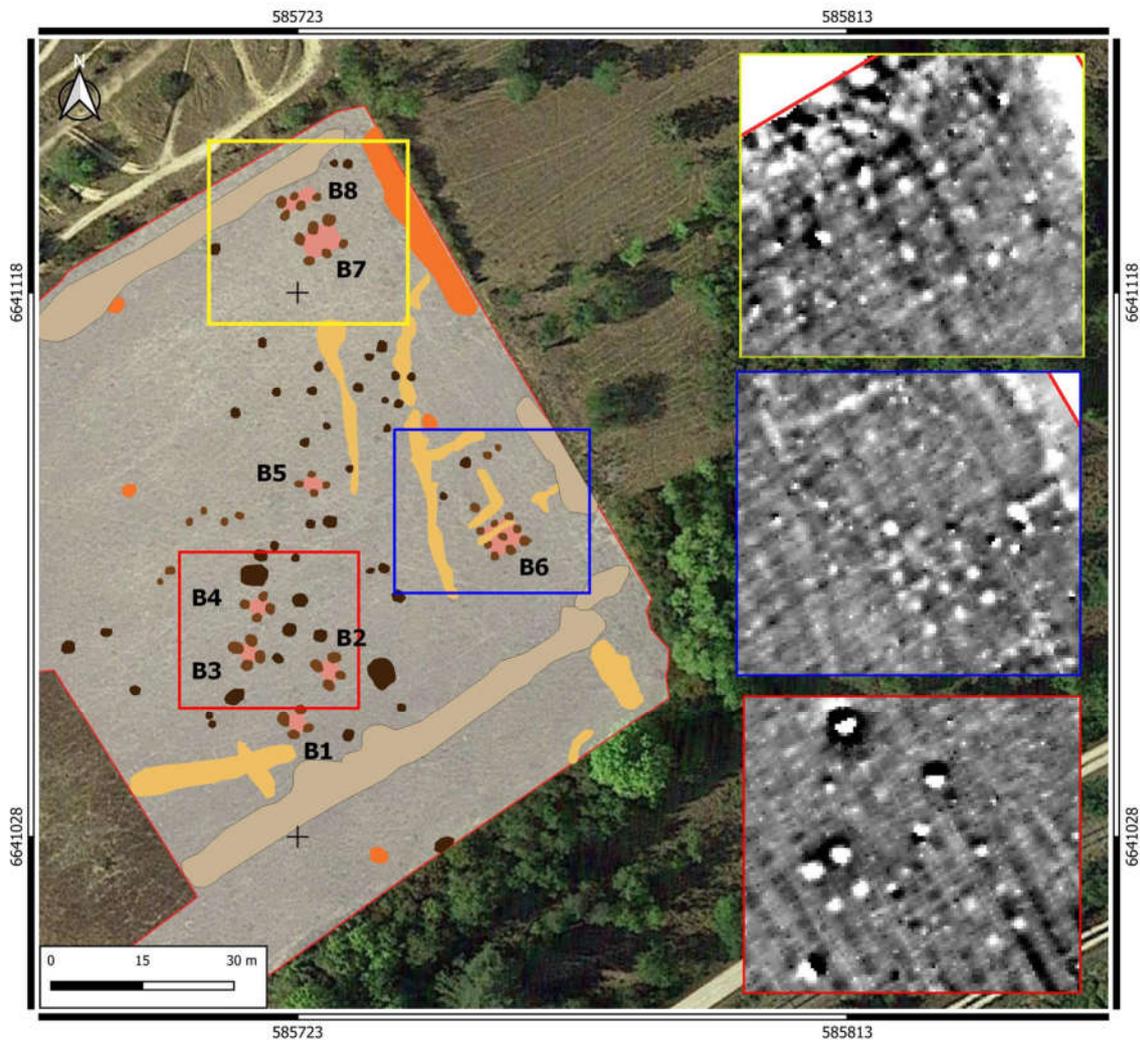


Figure 9:

Bâtiments sur poteaux

Dans la partie est du camp, notamment à proximité des bâtiments B6, B7 et B8, on identifie plusieurs anomalies linéaires positives (Figure 9). Elles sont interprétées comme des fossés qui semblent organiser l'espace. Un axe nord-sud semble se détacher bien que l'ensemble des bâtiments ne semble pas le suivre. Des plus petites anomalies linéaires positives sont présentes autour du bâtiment B6 (Figure 9) et pourraient correspondre à des éléments d'architecture, sablière basse par exemple.

Enfin, on retrouve un nombre important de petites anomalies ponctuelles positives pouvant correspondre à des fosses, voir des silos. Elles gravitent généralement autour des zones de bâtiments.

CONCLUSION

La prospection réalisée au Camp de César à Villedieu-sur-Indre apporte de nouvelles informations inédites sur le site. Dans un premier temps, le rempart est maintenant bien identifié et son tracé ne fait plus de doute. Une porte, de type à ailes rentrantes, a été mise en évidence sur le tronçon sud et il n'est pas exclu que d'autres entrées soient présentes à l'est ou à l'ouest. Des structures ont également été repérées en avant du rempart ce qui peut supposer d'autres aménagements défensifs.

L'organisation interne de l'*oppidum* commence à se dévoiler avec une petite dizaine de bâtiments sur poteaux identifiés ainsi que plusieurs fossés pouvant correspondre à du parcellaire. Gravitant autour de ces structures, de nombreuses petites anomalies positives restent difficilement interprétables. Elles semblent correspondre à des fosses ou des trous de poteaux non identifiés.

La prospection apporte donc de nouvelles informations concernant le site du Camp de César et les cartes permettront de guider les archéologues dans le cas où des sondages seraient organisés. La prospection pourrait être poursuivie à l'ouest pour renseigner l'ensemble du tronçon ouest du rempart ainsi les possibles structures en bas de pente.

BIBLIOGRAPHIE

Audoux D., Coulon G. - *Le camp de César à Villedieu-sur-Indre (Indre)*, 2021

Dechezleprêtre T. - La fortification de l'*oppidum* de Vernon dans son contexte régional in *Murus celticus, Architecture et fonctions des remparts de l'âge du Fer*, Collection Bibracte 19, 2010

Annexe 10

Etude xylologique

Etude du bois issu de F25 (D119658)

Frédéric Epaud

Bois vdieugsb04 T11-F25 (ensemble 1)

Observations depuis le vestige du poteau après analyse dendro, soit la moitié du bois privé de sa base qui a été redécoupée à la scie. Les traces de taille ont disparu sur les flancs conservés. La base taillée n'a pas été conservée mais d'après les données de fouille, les traces de taille (hache ?) n'étaient déjà plus visibles.

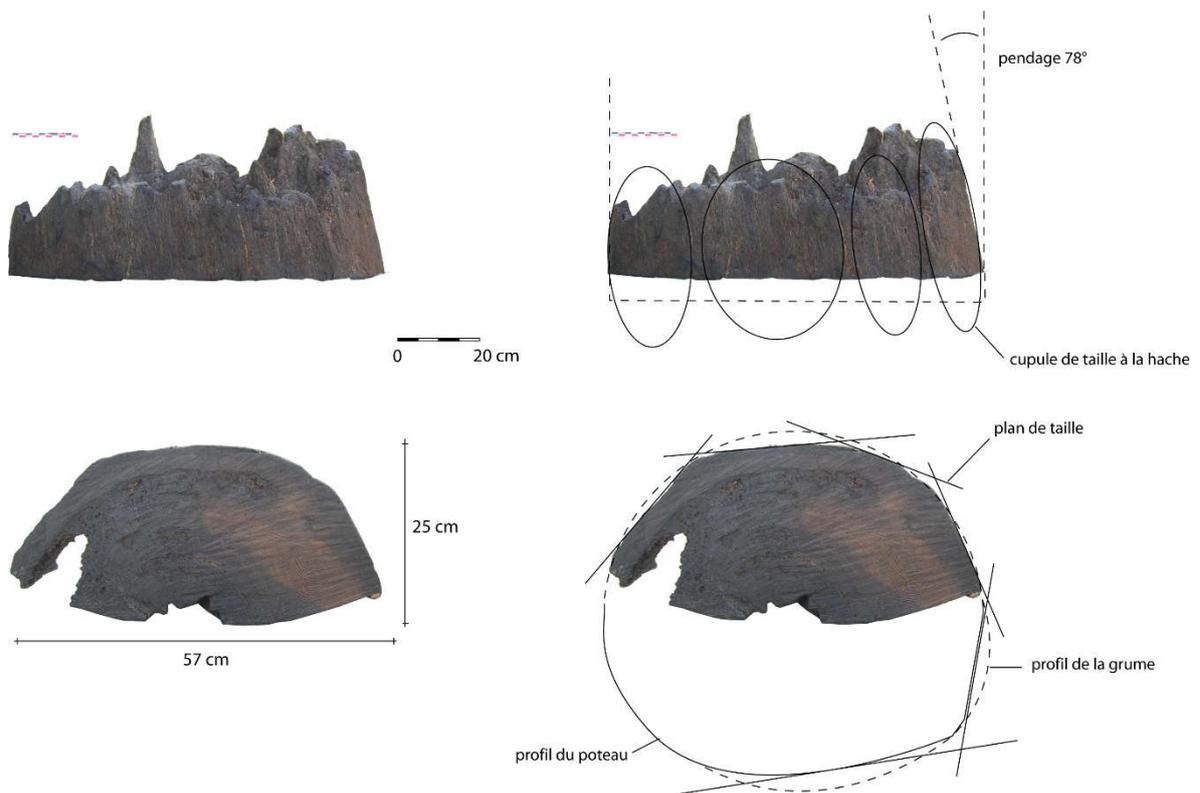
Bois de chêne conservant le cœur au centre, de 142 cernes, le dernier cerne mesuré étant daté de -164 av. J.-C. L'abattage est estimé par Dendrotech entre -155 et -125d av. J.-C. avec un aubier très proche des derniers cernes.

Les cernes montrent un début de croissance rapide sur 40 à 50 ans propre à un milieu relativement ouvert et dégagé (ripisylve, coupe rase d'une première occupation vers -280 ?), puis un ralentissement progressif et constant témoignant d'un milieu devenu plus contraignant. Les charpentiers ont utilisé la forme naturelle de la grume avec peu de retaille. On observe néanmoins sur le flanc conservé de la demi-bille au moins 4 retailles latérales qui recoupent les cernes de croissance, et dont on voit bien les plans de coupe sur la base du poteau. D'après les photos du poteau entier qui montre sur l'autre demi-bille un profil courbe peu retailé, la forme naturelle de la base du bois était donc ovoïde avant retaille de 80-90 cm de diamètre.

Sur la moitié du poteau, on observe un pendage important (78°) des fibres par rapport au plan de coupe actuel du fond (à droite du dessin). Si la coupe actuelle du fond est parallèle au fond original, cela suppose une inclinaison du flanc du poteau, non du poteau entier puisque les fibres du cœur et du flanc opposé sont verticales. D'après l'orientation du poteau en place (d'après photos mais à confirmer), le flanc incliné du poteau est orienté vers l'extérieur de l'ensemble 1. Ce fort pendage de la moitié du bois peut s'expliquer par un fort évasement de la base du fût et par le fait que le tronc était de profil tronconique, caractéristique d'un milieu ouvert et favorable type ripisylve et non d'une futaie dense. L'élévation du poteau connaîtrait ainsi une nette réduction de son diamètre sur les premiers mètres, avec donc une longueur exploitable en charpenterie relativement limitée (inférieure à 6 m environ).

Le fond plat (non conservé) témoigne d'autre part une importante perte de matière lors de la taille, ce qui suppose que le fût n'aurait pu être exploité au maximum que pour deux poteaux de 2 à 3 m maximum, limitant ainsi la hauteur restituable de l'ensemble 1 à un rez-de-chaussée à un rez-de-chaussée, une fondation de plate-forme ou pilotis, ou au maximum d'un poteau

d'un rez-de-chaussée surélevé sur pilotis dans le cas d'un seul bois exploitable pour ce fût, en tenant de l'enfouissement du poteau à un 1,50 minimum. La conception d'une base plate du poteau au fond du trou peut suggérer une construction élaborée avec d'autres bois assemblés en élévation, contrairement à une charpente qui aurait dû s'adapter à des poteaux épointés enfoncés en force dans le substrat humide de façon inégale et auxquels il aurait été complexe d'assurer la parfaite connexion des assemblages des parties hautes.



Annexe 11

Prospection aérienne

Prospection aérienne par L. Dody et F. Kildea¹



Localisation des sites photographiés sur fond de carte IGN 1/25000

Liste des sites présentés en photo et sur la carte avec coordonnées Lambert

1 La Varenne –La Grosse Borne. X : 58323 Y :6640138

2 La Varenne- Les Coteaux. X : 583404 Y : 6640177

3. La Varenne - Les Sables (La Chapelle-Orthemale). X : 583001 Y : 6640280

4. Poizerat - Le Portrat. X : 582859 Y :6641526

5. La Bergerie- Le Chêne Corbin. X : 584383 Y :6637084

6. Les Gagnages. X : 585930 Y : 6638432

7. Lavoir de Chambon. X : 586345 Y : 6640970

8. L’Aubronnerie. X : 586284 Y : 6641719

9. Les Essarts. X : 587173 Y : 6637256

10. Chamousseau. X : 585906 Y : 6640507

11 Le Marchais Veron. X : 584707 Y : 6636774

12 Les Belles Verdelles. X : 590195 Y : 6640868

13 Paray/Le Puy d’Or. X : 590775 Y : 6641147

14 Terre-Sainte. X : 590700 Y : 6640995

1. Varenne/La Grosse Borne

¹ Toutes les photos sont de L. Dody sauf mention du contraire. Tous les sites repérés sont situés sur la commune de Villedieu-sur-Indre sauf mention du contraire.



Photo prise au drone le 10 juin 2021

2. Varenne/Les Coteaux

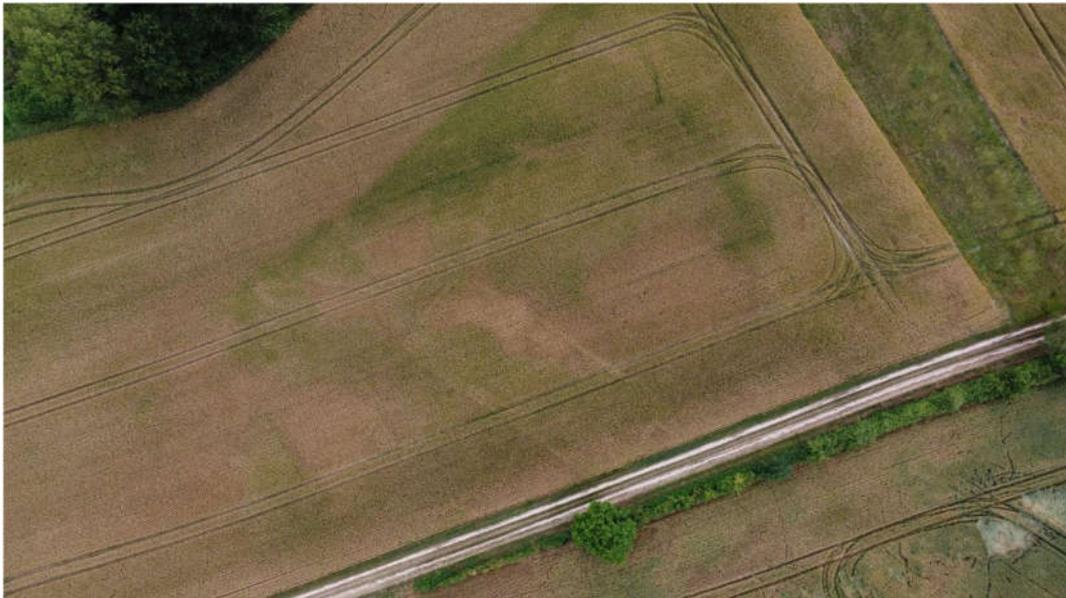


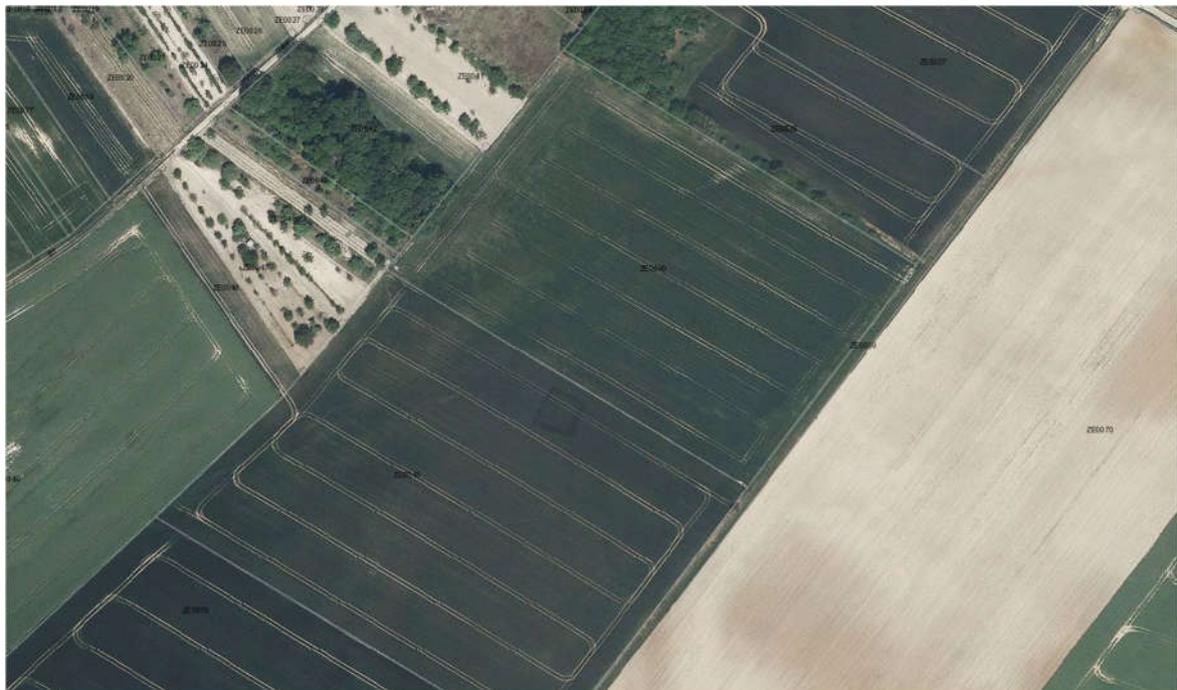
Photo prise au drone le 6 juin 2022

3. Varenne/ Les Sables : sanctuaire avec périgole ? (Di Napoli et al. 2021 : 40-43)



Photo prise au drone le 6 juin 2022

4. Poizerat - Le Portrat : enclos carré de 20 mt



BD Ortho IGN 2019

5. La Bergerie- Le Chêne Corbin : enclos rectangulaire 108*90 mt



Photo prise au drone le 13 août 2022

6. Les Gagnages : enclos carré de 66 mt



Photo prise au drone le 21 juillet 2022

7. Lavoir de Chambon : enclos carré de 25 mt



Photo prise au drone le 6 juin 2022



BD Ortho IGN 2010

8. L'Aubronnerie : enclos et partitions internes



Photo prise par drone le 7 juin 2022

9. Les Essarts : enclos (maçonné ?) carré de 100 mt proche de la voie antique



Photo prise par drone le 7 juin 2022

10. Chamousseau : enclos



Photo prise par drone le 10 aout 2022

11. Atelier métallurgique du Marchais Véron (Di Napoli et al. 2021 : 30-38)



Photo prise par drone le 2 décembre 2021

12. Les Belles Verdelles : enclos 53*65 mt (Di Napoli et al. 2021 ; Dody, Coulon 2022 : 29-35)



Photo prise au drone le 28 avril 2022

13. Le Paray/Pu y d'Or : enclos trapézoïdal 100*80 mt (Dody, Coulon 2022 : 29-35)



Photo prise au drone le 6 juin 2022

14. Terre Sainte



Photo satellite