

## ÉVOLUTION ENVIRONNEMENTALE HOLOCÈNE DANS L'ESTUAIRE DE LA SEINE : *JULIOBONA* ET LA VALLÉE DU BOLBEC/COMMERCE

MAIRAVILLE L.<sup>1</sup>, CHAPKANSKI S.<sup>1,2</sup>, TODISCO D.<sup>1</sup>, FINCO C.<sup>3</sup>, RICHARD H.<sup>4</sup>, PAILLÈS C.<sup>5</sup>, DEZILEAU L.<sup>6</sup>, PARÉTIAS J.<sup>7</sup>, LEPERT T.<sup>8</sup> et MOURALIS D.<sup>1</sup> (2024)

<sup>1</sup> IDEES - Identité et Différenciation de l'Espace, de l'Environnement et des Sociétés, UMR CNRS 6266, Université de Rouen

<sup>2</sup> LGP - Laboratoire de géographie physique : Environnements Quaternaires et Actuels

<sup>3</sup> ENDSUM - Evaluation non destructive des structures et des matériaux

<sup>4</sup> Laboratoire Chrono-Environnement, UMR 6249, Université de Franche-Comté

<sup>5</sup> CEREGE - Centre européen de recherche et d'enseignement des géosciences de l'environnement

<sup>6</sup> M2C - Morphodynamique Continentale et Côtière

<sup>7</sup> CSA - Caux Seine Agglo et ARCHIMEDE - Archéologie et histoire ancienne : Méditerranée - Europe

<sup>8</sup> Trajectoires - UMR 8215

**Référence de cet article :** MAIRAVILLE L., CHAPKANSKI S., FINCO C., RICHARD H., PAILLÈS C., DEZILEAU L., PARÉTIAS J., LEPERT T. & MOURALIS D. (2024). Évolution environnementale holocène dans l'estuaire de la Seine : *Juliobona* et la vallée du Bolbec/Commerce. Actes du troisième colloque de l'APVSM, Paléontologie et Archéologie en Normandie, 14-15 octobre 2023, *Bulletin de l'Association paléontologique de Villers-sur-Mer*, 2024, p. 164-180.

### Résumé

Les archives sédimentaires fluviales et côtières sont indicatives des évolutions des milieux au fil du temps et fournissent des indices pour la compréhension des ajustements environnementaux en réponse aux forçages, qu'ils soient climato-eustatiques et/ou anthropiques. Ainsi, elles permettent également de préciser les relations homme-milieu et la coévolution socio-environnementale. Cet article s'intéresse ici aux archives sédimentaires holocènes de l'estuaire de la Seine le long de la basse vallée de la rivière du Commerce, dans l'environnement de *Juliobona*, la capitale de la cité des Calètes. La proximité des environnements maritimes ou fluviaux, que ce soit la Seine ou la Manche, permet à cette ville romaine de prospérer, notamment grâce aux échanges commerciaux. La meilleure compréhension du colmatage sédimentaire permettrait alors de préciser les contextes environnementaux antérieurs et contemporains de l'occupation antique. L'hypothèse de travail repose sur le déplacement de la ligne de rivage de la Seine au fil des siècles. Afin d'étudier la succession des dépôts sédimentaires et de comprendre le rythme de la transformation paysagère, une approche géoarchéologique pluridisciplinaire alliant des prospections géophysiques, un carottage sédimentaire, des datations, des analyses sédimentologiques abiotiques et paléoenvironnementales biotiques a été développée. Le phasage, construit d'après les premiers résultats, indique la succession d'un environnement marin/côtier (limite supérieure : ca. 2 387 cal. BP), puis d'un environnement saumâtre et enfin d'un environnement d'eau douce (limite inférieure : ca. 2 064 cal. BP). Ces données offrent une nouvelle vision de l'évolution environnementale dans la vallée du Commerce à proximité de la ville romaine de *Juliobona* et invitent à reconsidérer les hypothèses précédentes qui envisageaient un colmatage plus tardif de la vallée.

### Mots clés

Paléoenvironnement, géoarchéologie, colmatage, diatomées.

### Abstract

Riverine and coastal sedimentary archives are indicative of environmental change through time and provide clues to understanding environmental adaptation in response to forcing, whether climato-eustatic and/or anthropogenic. They can also be used to elucidate human-environment

relationships and socio-environmental co-evolution. This article focuses on the Holocene sedimentary archives of the Seine estuary along the lower valley of the Rivière du Commerce, in the vicinity of Juliobona, the capital of the city of the Caletes. The proximity of the sea and rivers, whether the Seine or the Channel, allowed this Roman city to prosper, particularly through trade. A more detailed comprehension of the sedimentary filling would facilitate the identification of the environmental contexts preceding and contemporaneous with the ancient occupation. The working hypothesis is based on the displacement of the Seine's shoreline over the centuries. In order to study the succession of sedimentary deposits and gain insight into the pace of landscape transformation, a multidisciplinary geoarchaeological approach has been developed. This approach combines geophysical surveys, sediment coring, dating, abiotic sedimentological analysis and biotic palaeoenvironmental analysis. The phasing, constructed on the basis of the initial results, indicates the succession of a marine/coastal environment (upper limit: ca. 2,387 cal. BP), then a brackish environment and finally a freshwater environment (lower limit: ca. 2,064 cal. BP). The data presented here offer a new vision of environmental evolution in the Commerce valley, in the vicinity of the Roman town of Juliobona. They also prompt us to reconsider previous hypotheses which envisaged a later clogging of the valley.

### Key words

Paleoenvironment, geoarcheology, clogging, diatoms

### INTRODUCTION

Les enjeux liés à la gestion de l'eau et aux bassins versants font partie des questions d'actualité. À l'échelle de la Normandie, le Groupe Interdisciplinaire d'Étude du Climat (GIEC) normand<sup>1</sup> prévoit que le changement climatique d'ici 2100 favorisera les inondations en concomitance de différents phénomènes comme l'élévation du niveau marin, les précipitations intenses, les crues et les tempêtes (GIEC normand, thème Eau, 2023).

Dans ce cadre, la géoarchéologie s'intéresse ici aux interactions entre les formes du paysage en lien avec les hydrosystèmes des bassins versants étudiés et à leurs évolutions à l'échelle de l'Holocène.

Depuis une vingtaine d'années, les recherches sur l'évolution environnementale des estuaires se sont multipliées ainsi que les études transversales et systémiques plus larges portant sur le bassin de la Seine (Sebag, 2002 ; Frouin, 2007 ; Sechi-Sapowicz, 2012 ; Gonnet, 2017).

Les petites vallées affluentes de la Seine sont des géosystèmes tout à fait singuliers, caractérisés par l'interaction de différents éléments naturels et anthropiques, et marqués par une réponse morphologique relativement rapide<sup>2</sup>. Dans le cadre de ce travail, il s'agit de mettre en perspective l'histoire sédimentaire holocène de ces petites vallées affluentes de la Seine en s'intéressant dans un premier temps au cas de la vallée du Commerce.

Par l'analyse croisée de sédiments issus de carottages, il s'agit 1) d'identifier les sédiments colmatant la partie aval de la vallée, entre influences tidales et fluviales, 2) de proposer une reconstitution de la succession environnementale locale et temporelle, et 3) de préciser le contexte environnemental à l'époque antique.

En effet, le chef-lieu de la cité des Calètes, *Juliobona* (l'actuelle Lillebonne), connaît de profondes mutations à partir de la seconde moitié du III<sup>ème</sup> siècle.

<sup>1</sup> « Le GIEC normand, constitué d'experts régionaux (scientifiques et spécialistes) sur les différentes thématiques liées au climat et à son évolution, a pour but de traduire les prévisions du IPCC/GIEC \* international pour le territoire et de faire la synthèse des travaux scientifiques locaux existants sur ce sujet (données mesurées et projections à l'horizon 2050-2100). Ces prévisions auront pour but de se préparer aux impacts du changement climatique et de faire en sorte que le territoire, ses acteurs et ses habitants s'y préparent. » [Consulté le 25/10/2023, sur <https://www.normandie.fr/giec-normand>]

<sup>2</sup> Comparé à des géosystèmes plus imposants comme le Bassin de la Seine, avec un système plus latent (Devilliers, 2003).

Certains auteurs attribuent le déclin de la capitale à la baisse de l'activité portuaire, elle-même souvent associée à l'envasement du port (Fichet de Clairefontaine *et al.* 2004, p. 154 : Spiesser dir. 2021, p. 9), bien que d'autres hypothèses soient également envisagées (crise économique, conflit armé, perte d'influence de la ville...). Cette étude ambitionne de dresser un tableau plus complet de l'évolution paysagère des vallées affluentes de la basse vallée de la Seine, fondé sur des données géomorphologiques et paléobiogéographiques inédites. Ces résultats préliminaires viennent alimenter le travail du Projet Collectif de Recherche (PCR Cap.Cal., porté par Caux Seine aggro depuis 2021) dont l'objectif est d'étudier la trajectoire de la ville romaine de *Juliobona*.

Dans ce cadre, ces données sont complétées par l'étude des archives médiévales et modernes (Dubois, 2024) qui apporteront un éclairage indispensable à la compréhension de ce secteur et de son évolution depuis l'Antiquité (Parétias dir. 2024). L'apport croisé des sources paléoenvironnementales, archéologiques et historiques permettra de préciser les hypothèses émises jusqu'à présent ou, au contraire, de proposer un nouveau scénario fondé sur les recherches récentes.

## CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE ET HISTORIQUE

La basse vallée de la Seine, qui délimite en partie la frontière naturelle entre le département de la Seine-Maritime (76) et celui de l'Eure (27), et ses paysages ont considérablement changé au cours du Quaternaire<sup>3</sup>. Les reconstitutions paléogéographiques mettent en évidence la succession des anciens cours de la Seine, aboutissant aux paysages que l'on retrouve actuellement (Lefebvre, 1988 ;

Genuite *et al.*, 2021). La vallée du Commerce est située au sud de la Seine-Maritime (76), à une trentaine de kilomètres à l'est du Havre (Fig. 1A). Elle est drainée par la rivière du Commerce (également connue sous le nom de Bolbec, du nom d'une ville située en amont dans la vallée). Après un parcours d'environ quinze kilomètres, elle se jette dans l'estuaire de la Seine en traversant une rive concave fossile et une large bande alluviale d'environ deux kilomètres, héritées de plusieurs successions érosives pléistocène (Fig. 1B).

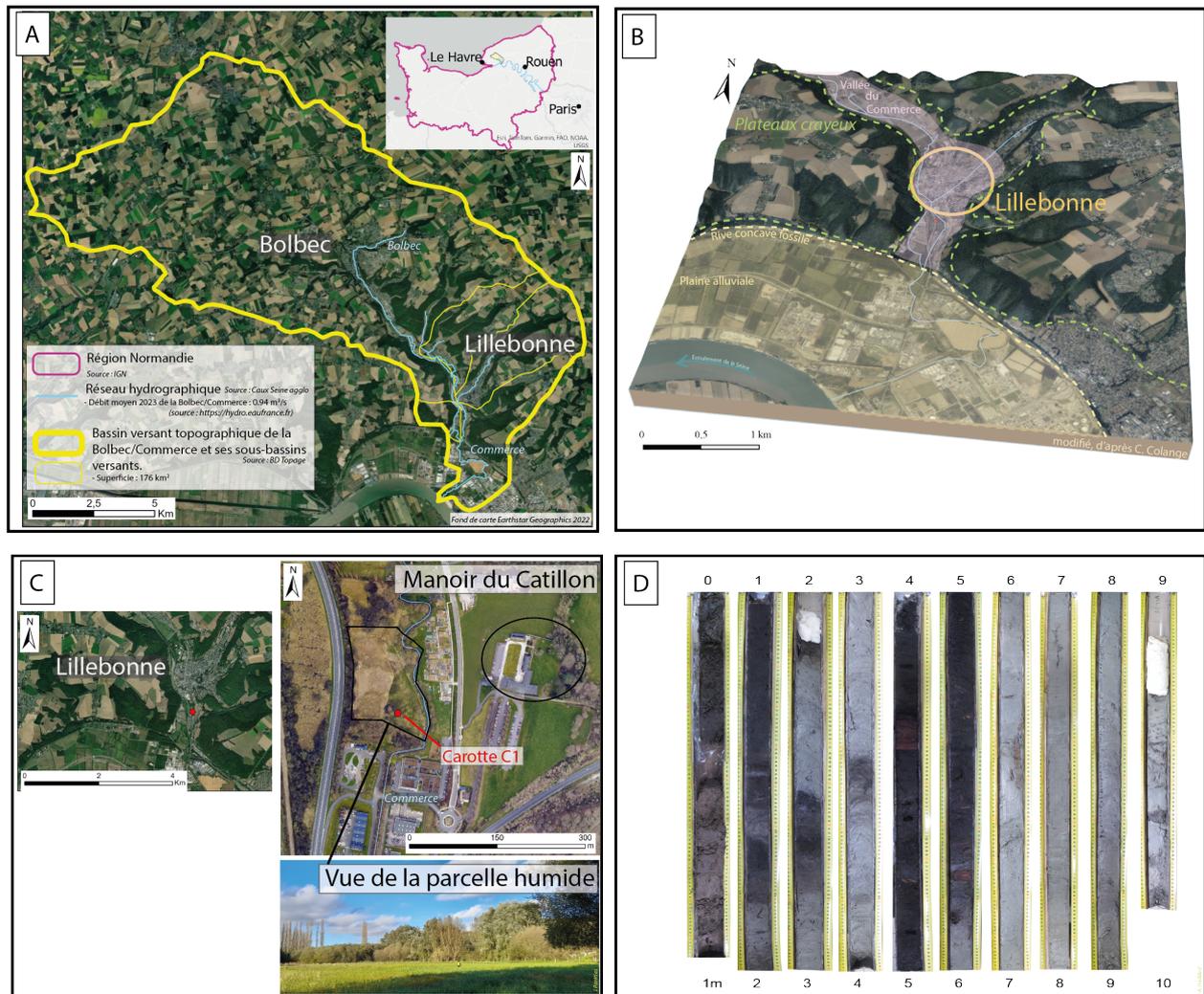
Les vestiges archéologiques connus suggèrent une fréquentation de la vallée dès le Paléolithique<sup>4</sup>, avec trois sites répertoriés en 2021 selon la base de données Patriarche<sup>5</sup>. À partir du second âge du Fer<sup>6</sup>, le territoire normand peut être perçu comme un espace densément occupé, avec un réseau parcellaire bien établi (Gonnet, 2017). À l'époque romaine, la ville de *Juliobona* est créée au début du I<sup>er</sup> siècle AD pour être le chef-lieu de la cité des Calètes. En l'état actuel des recherches, elle connaît l'apogée de son développement entre le I<sup>er</sup> et le II<sup>ème</sup> siècle AD grâce à sa connexion aux axes économiques et son activité portuaire. À la fin du III<sup>ème</sup> siècle, *Juliobona* perd toutefois son statut administratif et la cité des Calètes est fusionnée à celle des Vélocasses au sein d'un nouveau territoire, dont le chef-lieu est *Rotomagus*-Rouen (Fichet de Clairefontaine *et al.* 2004 ; Parétias, à paraître). A la fin de l'Antiquité et au début du Moyen Âge, la ville s'est resserrée dans l'enceinte du castrum (Spiesser, 2021). Sans qu'elle ne soit désertée au cours du Moyen Âge, elle cède sa place à la ville de Bolbec, mieux placée pour exploiter l'énergie de la rivière avec l'établissement de moulins (Vauquelin, 1974).

<sup>3</sup> Le Quaternaire est la période géologique la plus récente. Elle débute il y a 2,6 millions d'années et est toujours en cours actuellement. Cette période est caractérisée par l'apparition des humains ainsi que des cycles de période glaciaire/interglaciaire répétés. Le quaternaire est composé de l'époque Pléistocène (2,6 millions d'années à 11 700 ans avant le présent) et de l'Holocène (depuis 11 700 ans).

<sup>4</sup> Paléolithique : entre 2,6 millions d'années et 10 000 ans avant J.-C.

<sup>5</sup> La base de données Patriarche est l'application informatisée de la carte archéologique de la France, des services régionaux et du Ministère de la Culture (Chaillou et Thomas, 2007).

<sup>6</sup> 450-50 BC (Brun et Ruby, 2007)



**Figure 1. Localisation de la zone d'étude. (A) Le bassin Versant du Bolbec/Commerce. (B) Bloc topographique de Lillebonne et des environs. (C) Localisation de la zone de carottage. (D) Photographies de la carotte C1. Source : L. Mairaville, d'après les données IGN et CSa.**

La zone d'étude, en partie aval de la vallée, est marquée par la forte industrialisation du XX<sup>ème</sup> siècle avec des usines de pétrochimie. Elle se trouve au sud de la ville de Lillebonne, sur une parcelle humide, exempte d'aménagement récent, entourée par la voirie et le réseau hydrographique (Fig. 1C).

## OUTILS ET MÉTHODES

Une approche géoarchéologique pluridisciplinaire, basée sur des prospections géophysiques, un carottage sédimentaire, des datations radiocarbones et des indicateurs biotiques, a été développée afin de reconstituer

les paléoenvironnements holocènes<sup>7</sup>. Un carottage sédimentaire (C1) d'environ 10 m a été réalisé, à l'aide d'un carottier à percussion Cobra TTE et d'un extracteur hydraulique, au printemps 2021 (Haddad, 2021 ; Fig. 1D).

L'emplacement du carottage, situé à une altitude de 4,85 m NGF sur une parcelle humide face au manoir du Catillon a été déterminé à partir des sondages électriques et une cartographie à induction électromagnétique en domaine fréquentiel avec le CMD-Explorer (GF Instruments). Trois écartements du CMD-Explorer en configuration HCP<sup>8</sup> ont été utilisés. Ces écartements (1,48 m ; 2,82 m ;

<sup>7</sup> Thèse en cours financée par l'Université de Rouen + financement de Caux Seine agglo dans le cadre du PCR pour les analyses.

<sup>8</sup> Boucles d'émission et de réceptions horizontales.



grains de pollen, les décorations de leur paroi externe (exine), le nombre et le type des ouvertures visibles renseignent sur les taxons présents, associés à un environnement particulier. Vingt échantillons ont été prélevés sur l'ensemble de la carotte C1 et étudiés par Hervé Richard. La qualité des pollens et leur état de conservation sont discutés plus bas.

L'étude des pollens a été couplée aux analyses de diatomées. Ces micro-algues brunes présentes dans tous les écosystèmes sont de bons marqueurs et peuvent permettre de déduire des informations concernant la température, le niveau de salinité, les fluctuations des niveaux d'eau, par exemple. Vingt-trois échantillons ont été étudiés par Christine Paillès pour identification et détermination. Elle a effectué une analyse en Composantes Principales et une Classification Ascendante Hiérarchique (XLStats) ce qui permet une zonation de la série et confirme les observations des assemblages. Les zones créées (Fig. 2) correspondent à des espèces d'un même biotope, avec des indices de diversité<sup>10</sup> – indice de Shannon (Shannon et Weaver, 1948) – et d'équitabilité<sup>11</sup> stables au sein de la zone. Ces zones illustrent la succession d'environnements marins vers un environnement d'eau douce (de la zone 1 à la zone 5, respectivement).

La chronologie des dépôts sédimentaires a été établie par 5 datations radiocarbone <sup>14</sup>C et 15 datations au <sup>210</sup>Pb - <sup>137</sup>Cs. Les datations au <sup>210</sup>Pb et au <sup>137</sup>Cs peuvent recaler des sédiments récents, jusqu'à environ 150 ans. Les prélèvements ont alors été restreints aux deux premiers mètres de la carotte C1 pour les datations au <sup>210</sup>Pb et au <sup>137</sup>Cs, tandis que pour les datations <sup>14</sup>C, l'échantillonnage concerne toute la carotte C1. Les âges ont été traités et analysés au Canada<sup>12</sup> (Annexe). L'échantillonnage est ponctuel avec des intervalles

variables entre les prélèvements, une contrainte liée aux épaisseurs des unités sédimentaires repérées. La création des modèles âge-profondeur, présentés dans la partie résultats, pour les datations au <sup>210</sup>Pb et au <sup>137</sup>Cs, a été réalisée en collaboration avec Laurent Dezileau.

Le logiciel Chronomodel (dir. Ph. Lanos, version 3.1.8) a été utilisé pour calibrer les 5 datations <sup>14</sup>C avec les courbes terrestres de calibration *Intcal20* (Annexe). Les datations radiocarbone sont présentées selon un intervalle de confiance à 95 % (2 sigmas  $\sigma$ ), en date cal. BP et en cal. BC/AD.

## RÉSULTATS

### *Chronostratigraphie*

Le log stratigraphique de la carotte C1 (Fig. 3) offre un aperçu détaillé de la sédimentation holocène dans la vallée du Commerce. La stratigraphie est divisée en unités stratigraphiques (US) ayant des traits physiques (texture, couleur et granulométrie) communs. Les 5 datations radiocarbone ont livré des dates comprises entre -5 000 et 600 ans<sup>13</sup>. Elles permettent d'avancer un premier modèle âge-profondeur pour cette carotte qui sera à affiner, à partir des prochaines datations. La base de la carotte (US1) est composée de 4 m de limons, plus ou moins sableux, bien triés.

Cette unité sablo-limoneuse est surmontée par 2 m de sédiments organiques (US2). La sédimentation se poursuit ensuite avec des faciès organiques, moins épais que les précédents et présentant des degrés variables de décomposition (US3-5). Ces unités organiques sont entrecoupées de passes limono-sableuses. Enfin, la partie sommitale (US6) est constituée de sédiments organiques en cours de décomposition.

<sup>10</sup> La diversité prend en compte la richesse spécifique. Elle varie de 0 à  $\ln(S)$ , avec S le nombre total d'espèces présentes). Dans cette série, l'indice de diversité de Shannon varie de 0 à 4.6.

<sup>11</sup> L'équitabilité, ou la répartition équitable des abondances relatives, représente la structuration des assemblages. Elle correspond à  $\ln(S)/S$  et varie de 0 à 1.

<sup>12</sup> Laboratoire de Radiochronologie, Centre d'Études Nordiques, Université de Laval

<sup>13</sup> Soit, ca. 7000 cal. BP et 1300 cal. BP

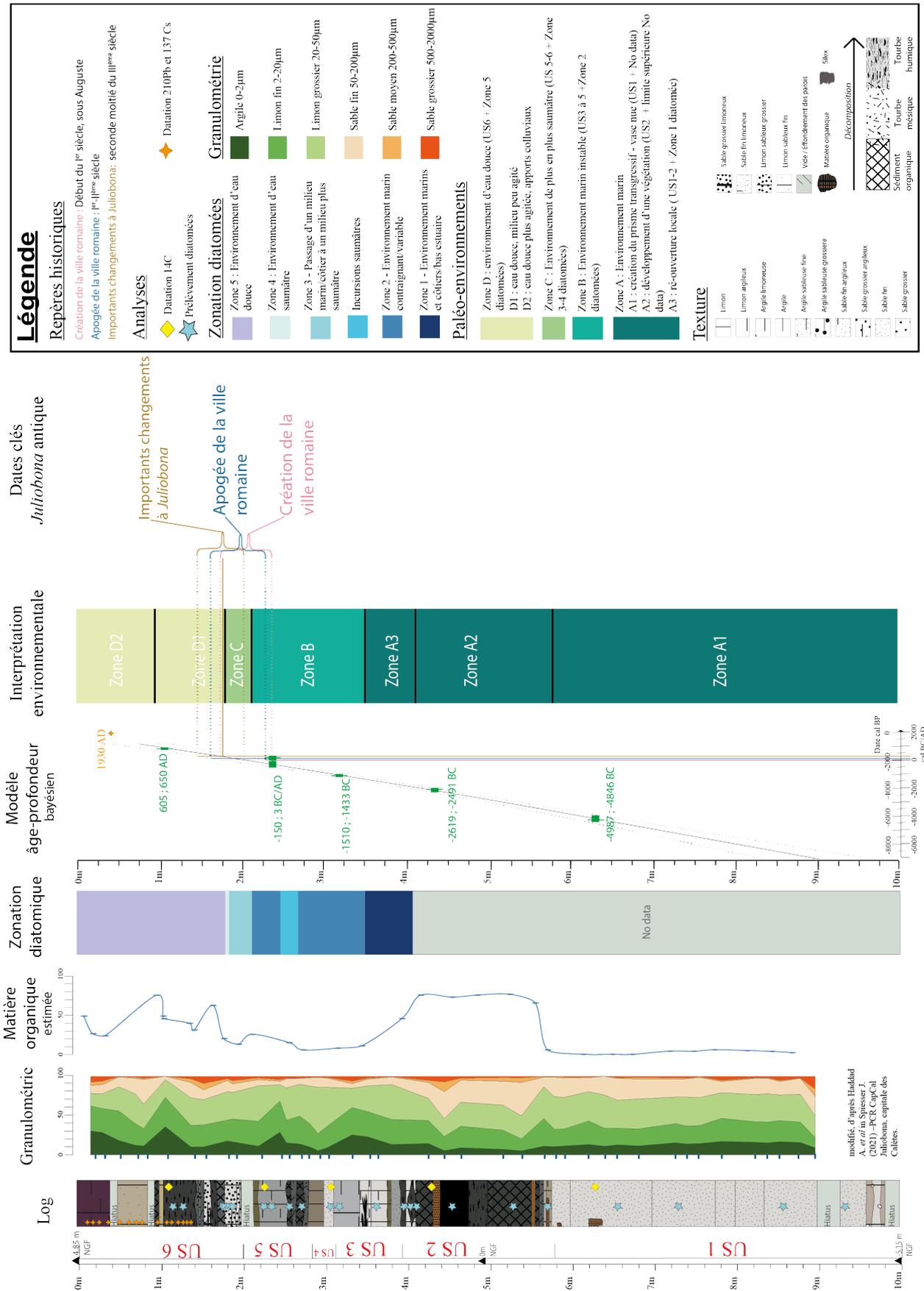


Figure 3. Carotte C1, analyses et interprétations. Source : L. Mairaville.

La figure 3 illustre aussi les variations granulométriques des sédiments inorganiques (Fig. 3 - Granulométrie), non corrigées par rapport à la fraction organique (Fig. 3 - Matière organique estimée). Près de 80 % des échantillons sont constitués à plus de 70 % d'argiles et de limons.

- la première unité (US1 ; de -5,77 m à -10 m de profondeur relative) est constituée de sédiments sablo-limoneux homogènes (moyenne des médianes : 35  $\mu\text{m}$ ) gris clair, grisâtres antérieurs à 3 500 ans cal. BC.
- la seconde unité (US2 ; de -5,77 m à -3,92 m de profondeur relative), distinguée aussi par son homogénéité, est constituée en majorité de sédiments organiques à plus de 60 %, antérieurs à 1 600 ans cal. BC.
- la troisième unité (US3 ; de -3,92 m à -3,11 m de profondeur relative) est composée de sédiments limono-argileux, gris à brun, antérieurs à 1 000 ans cal. BC. La texture de ces sédiments est relativement fine (moyenne des médianes : 23  $\mu\text{m}$ ).
- des sédiments organiques et argileux bruns constituent la quatrième unité (US4 ; de -3,11 m à -2,83 m de profondeur relative). La texture de celle-ci est relativement homogène hormis un échantillon plus fin. Ces sédiments sont antérieurs à 600 ans cal. BC.
- une troisième passe de sédiments organiques et argileux compose la cinquième unité (US5 ; de -2,83 m à -2 m de profondeur relative). La texture, le long de cette unité, est relativement stable et fine (moyenne des médianes : 26  $\mu\text{m}$ ). Ces sédiments sont antérieurs à 0 cal BC.
- La dernière unité (US6 ; de -2 m à la surface) est composée de sédiments limoneux dont la texture tend à s'affiner vers le sommet. Ces sédiments sont antérieurs à 2021 cal AD.

#### *Diatomées*

Les espèces de diatomées identifiées permettent d'identifier différentes zones (1 à 5)

correspondant à différents biotopes (d'un environnement marin à un environnement d'eau douce, Fig. 3).

Les échantillons les plus profonds étudiés (-9 à -4 m de profondeur relative) ne contiennent pas de diatomées. Les diatomées apparaissent à partir de 4 m ; la zone 1 (~ -4,10 m à -3,50 m de profondeur relative) contient une association de diatomées planctoniques typiques des milieux marins/côtiers ou de bas estuaire. Quelques espèces de milieux saumâtres cohabitent. De -3,50 m à -2,27 m de profondeur relative (zone 2), les espèces marines de la zone précédente sont bien développées et sont accompagnées par un cortège d'espèces saumâtres supportant des variations de salinité et d'abondants spicules d'éponges suggérant un environnement de type marin/côtier/estuarien.

À -2,60 m de profondeur relative, un échantillon suggère un changement brutal et ponctuel de cet environnement marin/côtier. En effet, les espèces marines strictes sont en net recul alors que les espèces saumâtres tolérantes aux variations de salinité se développent. Dans ce bref épisode, les kystes de Chrysophycées (algues unicellulaires siliceuses) atteignent 10 % et suggèrent un milieu plus dilué. À partir de -1,85/90 m de profondeur relative, les espèces marines disparaissent totalement au profit d'espèces tolérantes aux variations de salinité évoquant un environnement plutôt saumâtre (zone 3). Cette tendance se confirme à -1,79 m avec le développement progressif d'espèces d'eau douce (zone 4). Au-dessus de -1,77 m de profondeur relative, les diatomées d'eau saumâtre régressent alors que le cortège de diatomées d'eau douce (planctoniques et benthiques) et les kystes de Chrysophycées suggèrent une étendue d'eau douce déconnectée du milieu marin/côtier (zone 5). Au-dessus, les diatomées ne sont plus présentes.

#### *Limites*

Malgré la qualité des outils et méthodes appliqués, les résultats obtenus imposent certaines limites. L'analyse palynologique a montré une sur-représentation des taxons polliniques d'espèces liés à un environnement

humide (Tab.1). Cependant ces premiers résultats soulèvent trois biais.

Le premier concerne la sous-représentation des pollens « non humides ». En effet, pour réaliser un diagramme pollinique représentatif de la végétation régionale, les pollens de plantes humides doivent être retirés. Or, dans les échantillons analysés, le total des pollens « non humides » s'avère bien trop faible, avec une trop faible diversité des taxons, empêchant la création d'un diagramme pollinique représentatif. Le second problème soulevé est la mauvaise conservation des grains de pollens.

Celle-ci pourrait être le résultat d'assèchements de l'environnement immédiat de la carotte C1, par exemple. Sur le tableau présenté, à -4,75-4,76 m de profondeur relative (soit environ 0,10 m NGF) seuls 81 pollens ont été comptés, dont au moins 55% sont des pollens de plantes hygrophiles. Ce problème de mauvaise conservation des pollens serait à mettre en parallèle avec les mêmes problèmes soulevés par M.-F. Huault sur son sondage 1 à proximité de la parcelle humide, face au Catillon (Huault, 1979) pour entamer une réflexion parallèle sur la conservation des pollens dans des zones sous influence tidale biquotidienne. Enfin, le dernier point est la présence de bouffées de pollens particuliers dans certains échantillons. Par exemple, à -1,34/35 m de profondeur relative, 6 pollens de lierre sont comptés alors qu'ils n'apparaissent dans aucun autre échantillon. Une première explication à ce phénomène pourrait être des apports de sédiments ponctuels, qui peuvent être liés à une « pollution » anthropique et qui auraient contenu ces pollens particuliers. En l'état, les résultats de ces tests palynologiques ne sont pas exploitables car ils sont trop peu représentatifs.

L'exploitation des résultats bruts des datations au  $^{210}\text{Pb}$  -  $^{137}\text{Cs}$  a montré des valeurs négatives de  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  ( $^{210}\text{Pb}$  -  $^{226}\text{Ra}$  filles), ce qui est inhabituel et indiquerait des problèmes de diffusion de Ra ou U. Ces problèmes de diffusion peuvent être liés à la bioturbation et/ou la fixation des  $^{210}\text{Pb}$  et  $^{137}\text{Cs}$  sur des argiles (processus absorption/adsorption) au détriment

des limons et sables présents dans la carotte C1. La lecture croisée de ces deux chronostratigraphies indique que les dépôts situés sous 0,45 m de profondeur sont très probablement antérieurs aux années 1940. Cependant, nous ne sommes pas en mesure de proposer une chronologie plus complète en raison des phénomènes de diffusion évoqués plus haut.

## DISCUSSION

Les résultats de cette étude géoarchéologie pluridisciplinaire permettent de proposer une évolution de la dynamique de la partie aval de la vallée du Commerce, affluente de la Seine, au cours de l'Holocène.

Le schéma d'interprétation (Fig. 4), proposé afin de faciliter la compréhension de l'évolution environnementale au niveau local, figure une représentation théorique simplifiée qui vise à illustrer différentes US (1 à 6) et les variations environnementales successives du trait de rive de la Seine.

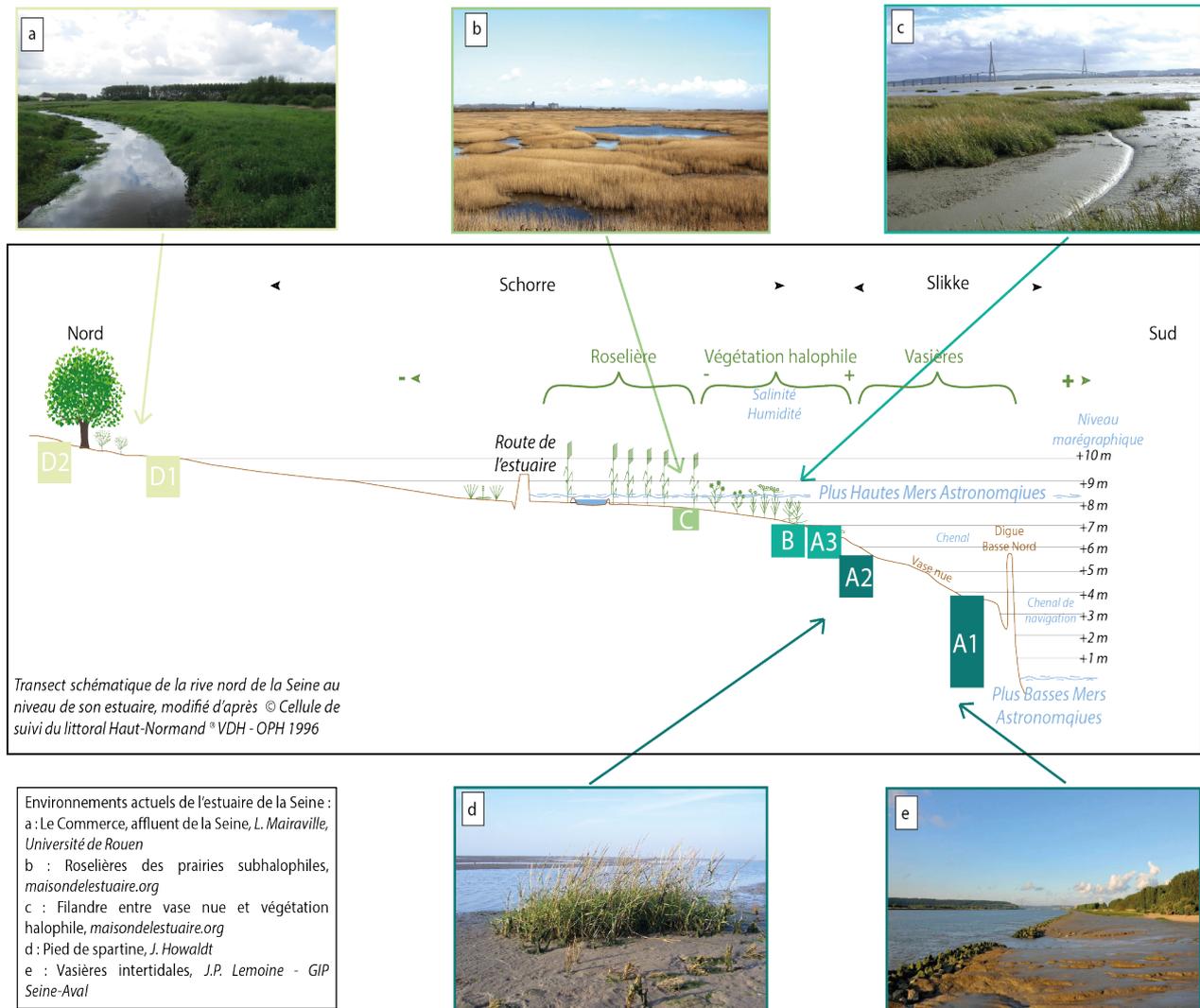
Le croisement de la description stratigraphique et de la granulométrie a mis en évidence 6 unités sédimentaires (Fig. 3) allant d'une sédimentation sablo-limoneuse inorganique vers des sédiments plus argileux et organiques. Les indicateurs biotiques (diatomées) ont permis d'identifier une succession de 5 environnements (Fig. 3), allant d'un environnement marin/côtier à un environnement d'eau douce, sans intrants salés. Le croisement de l'ensemble de ces résultats permet d'avancer une interprétation paléoenvironnementale et d'aboutir à la distinction de 4 phases environnementales, parfois composées de sous-ensembles (Fig. 3).

La première zone repérée (A) est comprise entre -10 m et -3,5 m de profondeur relative. Le toit de cette unité est calé chronologiquement par le modèle âge-profondeur et correspond à 2746/2448 avant notre ère<sup>14</sup>.

Cette unité est composée de trois sous-environnements :

<sup>14</sup> Limite postérieure : *Credibility Interval* (95 %) : [-2746 ; -2448] BC/AD.





**Fig. 4. Illustrations des unités stratigraphiques de la carotte C1 en utilisant le principe d'actualisme des environnements actuels de l'Estuaire de la Seine. Source : L. Mairaville.**

La première sous-phase (A1, vert-bleu foncé) est constituée de sédiments sableux fins homogènes gris clair au sein desquels les prélèvements de diatomées se sont révélés négatifs. La granulométrie de ces sédiments indique un milieu relativement agité, où la conservation des diatomées est mauvaise.

Compte tenu de la position verticale, de l'âge, du niveau marin dans la zone (Stephan, 2014), du type de dépôts en lamines successives typique de dépôts estuariens (notes de cours, F. Boulvain, 2020), nous considérons qu'il s'agit de sédiments tidaux de type slikke active, constituant le prisme transgressif holocène.

La seconde sous-unité (A2) correspond à des sédiments organiques au sein desquels les diatomées n'ont pas non plus été conservées, peut-être en raison d'une turbidité trop importante. La présence de matériaux organiques semblerait indiquer un environnement de type bas-schorre où la nappe d'eau serait moins profonde et permettrait l'implantation (ou le dépôt) de la végétation.

La dernière sous-unité (A3) est constituée d'une alternance de sédiments limono-sableux puis organiques. Ces données peuvent laisser penser à un environnement qui se ré-ouvre, plus dynamique, permettant le dépôt de sédiments plus grossiers. Les diatomées indiquent un environnement marin et côtier/bas estuarien stable.

La deuxième zone (B) est repérée sur 1,40 m et est positionnée par deux datations, pour une durée moyenne de 1 034 ans<sup>15</sup>.

Le cortège de diatomées indique que cette unité est toujours située dans un contexte marin, mais marqué par une certaine variabilité ou des contraintes environnementales (indices de diversité et l'équitabilité plus faibles que l'unité précédente).

Une troisième zone (C) est une unité de faible épaisseur, repérée d'après l'assemblage de diatomées. Cette unité est marquée par des incursions d'eau douce, rendant l'environnement de plus en plus saumâtre.

La quatrième zone environnementale (D) repérée est une unité où l'eau douce est majoritaire. De fait, cette zone est hors d'atteinte des plus hautes marées astronomiques. Cette unité peut être scindée en deux sous-environnements :

Un premier environnement (D1) est marqué par le développement de sédiments organo-tourbeux. La limite supérieure de cette unité est calée chronologiquement par la date de 605-650 AD.

Un second environnement (D2) apparaît ensuite, venant stabiliser les dépôts sédimentaires. Il s'agit cette fois de sédiments plus limoneux, issus de l'érosion de versants et rebords de plateaux au cours du dernier millénaire. Bien documenté à l'échelle de l'Eure et de la Seine-Maritime, ces épisodes érosifs sont plus souvent tardifs, modernes, voire contemporains (Sechi-Sapowicz, 2012 ; Gonnet, 2017).

Les résultats et interprétations proposés dans cet article permettent une meilleure contextualisation environnementale pendant l'occupation de la ville romaine dans le secteur (Fig. 4). La création de la ville de *Juliobona* remonte au début du I<sup>er</sup> siècle AD, sous le règne d'Auguste (27 BC-14 AD). Elle intervient à une période où le paysage aval de la vallée peut présenter, en raison du degré d'incertitude lié à la qualité des dates du modèle âge-profondeur,

trois environnements différents : un contexte marin instable (zone B), un environnement de plus en plus saumâtre (zone C), voire un environnement d'eau douce (zone D). L'apogée de *Juliobona* est datée, d'après les données archéologiques, du I<sup>er</sup> et du II<sup>ème</sup> siècles, une période où ce secteur est caractérisé par un environnement d'eau saumâtre ou d'eau douce.

Enfin, pendant la seconde moitié du III<sup>ème</sup> siècle, une période souvent présentée comme celle du déclin de la ville, le modèle âge indique (prenant en compte les enveloppes d'erreur à 95 %) la zone C et la zone D1, c'est-à-dire en transition d'un environnement aquatique saumâtre vers un environnement d'eau douce. Toutefois, on peut raisonnablement penser au vu des enveloppes des autres événements, que ce déclin aurait lieu dans un environnement d'eau douce.

## CONCLUSION

Pour conclure, quatre phases environnementales et leurs sous-ensembles ont été mises en évidence (Fig. 3) dans le remplissage sédimentaire de la partie aval de la vallée du Commerce. Tout en permettant de préciser l'environnement de *Juliobona*, ces résultats semblent montrer un changement d'environnement entre la création, l'apogée et le déclin administratif de la ville romaine, une hypothèse reprise depuis plusieurs décennies déjà dans les publications (Duval, 1984 ; Fichet de Clairfontaine *et al.*, 2004) sans pouvoir apporter des éléments de preuve. Toutefois, ces résultats imposent la plus grande prudence et invitent à la réflexion au sujet de la représentativité de la carotte C1 et de l'état de colmatage à la période antique de la partie aval de la vallée du Commerce. Il serait bon d'envisager de nouvelles datations afin de resserrer davantage la chronologie et de proposer un modèle âge-profondeur plus précis.

En outre, les données issues d'une seule carotte ne peuvent pas constituer un faisceau d'indices suffisants pour comprendre et restituer la totalité de l'environnement de ce secteur très anthropisé. De nouveaux carottages sont

<sup>15</sup> Durée : *Credibility Interval* ( 95 %) : [ 698 ; 1487 ] Years.

envisagés afin mieux documenter l'extension du prisme transgressif et de mieux comprendre la fermeture et le colmatage paysager à Lillebonne. En parallèle de ce travail de terrain, la prise en compte des résultats archéologiques disponibles pour la vallée du Bolbec/Commerce, en particulier avec les diagnostics menés par l'Institut National de Recherches Archéologiques Préventives (INRAP) à Lillebonne depuis 2011 (Kliesch, 2011 ; Leterreux, 2012 ; Adrian, 2022), permettra de confronter l'hypothèse retenue avec des données complémentaires.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier chaleureusement l'Association Paléontologique de Villers-sur-Mer pour l'organisation du 3<sup>ème</sup> colloque et le suivi éditorial. Merci aussi aux relecteurs pour leurs conseils. L'autorisation de carottage a été accordée par la Mairie de Lillebonne et Caux Seine agglomération dans le cadre du PCR CapCal, porté en 2021 par Jérôme

Spiesser et suivi par le Service Régional d'Archéologie. La première autrice bénéficiaire d'un contrat doctoral obtenu auprès de l'ED n°556 de l'Université de Rouen Normandie. Les missions de terrain et les analyses au laboratoire ont été soutenues financièrement par le laboratoire IDEES - UMR 6266 de l'Université de Rouen et Caux Seine agglomération. Les auteurs remercient Amine Haddad, Robert Davidson, Mohammed Kouah, Ingrid Bejarano-Arias, Kim Genuite, Igor Girault, du laboratoire IDEES UMR CNRS 6266, pour leur aide lors de la réalisation du carottage en 2021 et la logistique sur le terrain. Merci aussi à Fayçal Rejiba pour l'encadrement lors de la géophysique. Un grand merci également à Marie-Paule Bataillé pour son encadrement pour les analyses au laboratoire. Enfin, un très grand merci à Lola Bricout, Clément Gouret ainsi qu'aux bénévoles amoureux de leur région, notamment Serge Lejeune et Stéphane Lejeune pour leur aide plus que précieuse lors des missions de terrain.

## BIBLIOGRAPHIE

- ADRIAN Y.-M. (dir.) (2022).** *Lillebonne. Angle boulevard Maréchal Leclerc et rue du Havre.* Rapport d'opération. Diagnostic archéologique. Inrap Grand-Ouest, février 2022, 115 p.
- BOULVAIN F. (2020).** Notes de cours, disponibles sur <https://www.studocu.com/fr-be/document/universite-de-liege/sedimentologie-et-petrologie-sedimentaire/processus-notes-de-cours-f-boulvainalteration-erosion-transport-depot-evolution-post-depot/29351107>
- BRUN P. & RUBY P. (2007).** L'Âge du Fer en France : premières villes, premiers États celtiques. *La Découverte*, 178 p.
- CHAILLOU A. & THOMAS J. (2007).** L'application Patriarche. *Les nouvelles de l'archéologie*, 107, p. 52-57.
- DEZILEAU L., LEHU R., HSU S.-K., BABONNEAU N., RATZOV G., LIN A.T. & DOMINGUEZ S. (2016).** Historical Reconstruction of Submarine Earthquakes Using 210 Pb, 137 Cs, and 241 Am Turbidite Chronology and Radiocarbon Reservoir Age Estimation off East Taiwan. *Radiocarbon*, 58 (1), p. 25-36.
- DEVILLERS B. & PROVANSAL M. (2003).** La morphogenèse d'un géosystème cultivé depuis le Néolithique récent : les petits bassins versants de la moyenne vallée de l'Hérault (France), *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 9 (2), p. 83-98.
- DUVAL P.C. (1984).** Rouen et les voies antiques de Haute-Normandie. *Annales de Normandie*, 34 (1), p. 3-14.

- DUBOIS A. (2024).** La disparition du port de Lillebonne (fin du Moyen Âge - époque moderne). In : PARETIAS J. (dir.), *PCR CapCal. Juliobona, capitale des Calètes*. Rapport d'opération. Caux Seine agglo, février 2024.
- FICHET de CLAIRFONTAINE F., DELAVAL E., HINCKLER V. & LE MAHO J. (2004).** Capitales déchues de la Normandie antique. État de la question. In : Capitales éphémères. Des Capitales de cités perdent leur statut dans l'Antiquité tardive. Actes du colloque Tours 6-8 mars 2003. Tours, Fédération pour l'édition de la Revue archéologique du Centre de la France. *Supplément à la Revue archéologique du centre de la France*, 25, p. 141-155.
- 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*. Thèse de doctorat, Université de Rouen, 256 p.
- GENUITE K., TODISCO D., NEHME C., BALLESTEROS D., MOURALIS D. (2021).** Morphological evolution of the middle and lower seine valley (Normandy, France) during the quaternary: morphometric analysis of the paleomeanders. *Quaternaire*, 32 (3), p. 203-220.
- GIEC Normand (2023).** L'EAU Disponibilité, qualité, risques naturels [https://mcusercontent.com/9b0789e59d693870d5cca5bbf/files/e38d0a5b-0902-3806-ca90-be57d5af1c3c/Ultrasynt%C3%A8se\\_GIEC\\_Eau.pdf](https://mcusercontent.com/9b0789e59d693870d5cca5bbf/files/e38d0a5b-0902-3806-ca90-be57d5af1c3c/Ultrasynt%C3%A8se_GIEC_Eau.pdf) [Accédé le 15 février 2024].
- GONNET A. (2017).** *Du plateau au fond de vallée : apport de l'étude de trois sites archéologiques à la compréhension des dynamiques géomorphologiques holocènes en Normandie*. Thèse de doctorat, Université de Rouen, 481 p.
- HADDAD A., TOMISCO D., MOURALIS D., FINCO C. & REJIBA F. (2021).** Le colmatage sédimentaire Holocène de la baie de Juliobona : Premiers résultats. In : SPIESSER J. (2021). *PCR CapCal Juliobona, capitale des calètes*. Journée d'actualités archéologiques, Lillebonne, 10 juillet 2021.
- HUAULT M.-F. (1979).** Étude palynologique du remblaiement post-glaciaire près de Lillebonne. *Bulletin d'Information des géologues du bassin de Paris*, 16 (2), p. 15-20.
- KLIESCH F. (2011).** *La nécropole principale de Juliobona, son mur de berge et ses aménagements de rive*. Rapport Final de diagnostic.
- LANOS Ph. & DUFRESNE Ph. (2019).** ChronoModel version 2.0: Software for Chronological Modelling of Archaeological Data using Bayesian Statistics. Available at <https://chronomodel.com/>
- LEFEBVRE D. (1988).** Les méandres hypertrophiés de la Basse Seine sont une forme dégradée de méandres surimposés. *Bulletin trimestriel de la Société géologique de Normandie et des amis du Muséum du Havre*, 75 (2), p. 43-57.
- LETERREUX M.-F. (2012).** *Boulevard de Lattre de Tassigny, parcelles AL 1009, 1010 et 1011*. Rapport Final de diagnostic.
- PARÉTIAS J. (dir.) (2024).** *PCR CapCal. Juliobona, capitale des Calètes. Résultats des années 2022-2023*. Rapport d'opération. Caux Seine agglo, février 2024.
- PARÉTIAS J. (à paraître).** Administrer face au(x) changement(s) : le cas de Juliobona comme illustration des mutations de chefs-lieux de cité dans le nord des Trois Gaules. In : *Actes du colloque international Crises et résiliences urbaines. Vivre avec les risques dans les villes, de l'Antiquité au Moyen Âge*, Lillebonne, 22-24 novembre 2023.

**SEBAG D. (2002).** *Apports de la MO pour la reconstitution des paléoenvironnements holocènes de la basse vallée de la Seine. Fluctuations des conditions hydrologiques locales et environnements de dépôt.* Thèse de doctorat, Université de Rouen, 356 p.

**SECHI-SAPOWICZ S. (2012).** *Les archives sédimentaires témoins des phases d'érosion. Approche géo-archéologique appliquée au bassin versant de la Basse Vallée de la Seine (Normandie, France) et au Campidano Septentrional (Sardaigne, Italie).* Thèse de Doctorat, Université de Rouen, France, 456 p.

**STEPHAN P. & GOSLIN J. (2014).** Évolution du niveau marin relatif à l'Holocène le long des côtes françaises de l'Atlantique et de la Manche : réactualisation des données par la méthode des « sea-level index points. *Quaternaire*, 25 (4), p. 295-312.

**VAUQUELIN J. (1974).** *Bolbec et son histoire...* Bolbec, Impr. Ferric, 298 p.

**Logiciels :**

**LANOS, P. & DUFRESNE P. (2019).** ChronoModel version 2.0: Software for Chronological Modelling of Archaeological Data using Bayesian Statistics. Available at <https://chronomodel.com>.

**ANNEXES**

Annexe 1 – Tableau des datations  $^{210}\text{Pb}$  et au  $^{137}\text{Cs}$ .

Annexe 2 – Tableau des datations  $^{14}\text{C}$ .

Annexe 1 - Tableau des datations  $^{210}\text{Pb}$  et  $^{137}\text{Cs}$ 

Carotte	Profondeur relative (cm)	Pb 210 (Bq/g)	erreur Pb 210 (moy, Pb-214+Bi-214)	Ra 226 filles (Bq/g)	erreur Ra 226 filles (Bq/g)	Pb 210 non supporté (Bq/g)	erreur non supporté (Bq/g)	Cs 137 (Bq/g)	erreur Cs 137 (Bq/g)	Date de comptage	Masse sédiment (g)
C1P1	11,5	0,122	0,025	0,019	0,014	0,10	0,04	0,01	0,01	10-août-21	0,9234
	19,5	0,039	0,015	0,03	0,007	0,009	0,022	0,022	0,005	30-août-21	1,9502
	26,5	0,031	0,012	0,034	0,008	0	0	0,023	0,006	31-août-21	1,8643
	38,5	0,033	0,011	0,029	0,007	0,003	0,018	0,016	0,004	01-sept-21	2,1572
	52,5	0,007	0,018	0,019	0,011	0	0	0	0	02-sept-21	1,1501
	63,5	0,001	0,006	0,018	0,004	0	0	0	0	03-sept-21	3,2367
	71,5	0,007	0,008	0,01	0,005	0	0	0	0	07-sept-21	2,6713
	78,5	0,001	0,007	0,005	0,004	0	0	0	0	08-sept-21	2,8051
	98,5	0,003	0,025	0	0	0,003	0,025	0	0	09-sept-21	0,8778
C1P2	108,5	0,025	0,018	0,032	0,011	0	0	0	0	02-août-21	1,2924
	114,5	0,013	0,017	0,034	0,012	0	0	0	0	03-août-21	1,3713
	122,5	0,01	0,013	0,029	0,008	0	0	0	0	04-août-21	1,5687
	129,5	0,019	0,014	0,017	0,007	0,003	0,022	0	0	05-août-21	1,794
	134,5	0,01	0,015	0,019	0,008	0	0	0,001	0,004	06-août-21	1,4889
	139,5	0,015	0,017	0,017	0,01	0	0	0,001	0,003	09-août-21	1,1458

Annexe 2 - Tableau des datations <sup>14</sup>C

Carotte C1

Code laboratoire	Prof. (cm)	Matériel daté	Age BP	Age calibré	
				cal. BC/AD	cal. BP
ULA-10208	106	Matière organique	1425± 15 BP	Credibility Interval (95 %) : [ 605 ; 650 ] BC/AD HPD Region (95 %) : [ 604 ; 651 ] (95%) BC/AD	Credibility Interval (95 %) : [ -1345 ; -1300 ] Date Cal. BP HPD Region (95 %) : [ -1346 ; -1299 ] (95%) Date Cal. BP
ULA-10968	237	Matière organique	2060 ± 20 BP	Credibility Interval (95 %) : [ -150 ; 3 ] BC/AD HPD Region (95 %) : [ -156 ; -28 ] (84%), [ -19 ; 8 ] (11%) BC/AD	Credibility Interval (95 %) : [ -2100 ; -1947 ] Date Cal. BP HPD Region (95 %) : [ -2106 ; -1978 ] (84%), [ -1969 ; -1942 ] (11%) Date Cal. BP
ULA-10969	318	Matière organique	3220 ± 20 BP	Credibility Interval (95 %) : [ -1510 ; -1433 ] BC/AD HPD Region (95 %) : [ -1511 ; -1433 ] (95%) BC/AD	Credibility Interval (95 %) : [ -3460 ; -3383 ] Date Cal. BP HPD Region (95 %) : [ -3461 ; -3383 ] (95%) Date Cal. BP
ULA-9948	434	Bois	4035 ± 15 BP	Credibility Interval (95 %) : [ -2619 ; -2491 ] BC/AD HPD Region (95 %) : [ -2623 ; -2595 ] (10%), [ -2587 ; -2484 ] (85%) BC/AD	Credibility Interval (95 %) : [ -4569 ; -4441 ] Date Cal. BP HPD Region (95 %) : [ -4573 ; -4545 ] (10%), [ -4537 ; -4434 ] (85%) Date Cal. BP
ULA-10970	629	Matière végétale	6030 ± 20 BP	Credibility Interval (95 %) : [ -4987 ; -4846 ] BC/AD HPD Region (95 %) : [ -4989 ; -4842 ] (95%) BC/AD	Credibility Interval (95 %) : [ -6937 ; -6796 ] Date Cal. BP HPD Region (95 %) : [ -6939 ; -6792 ] (95%) Date Cal. BP