

Environnements et homme des lagunes languedociennes: construction d'une base de données de macrobotanique analogique moderne pour comprendre le rôle de l'eau et de l'édaphologie dans la dynamique de sédimentation des vestiges archéobotaniques du port romain de *Lattara* (Lattes, France)

Bigna L. Steiner, Natàlia Alonso, Patrick Grillas, Christophe Jorda, Gaël Piquès, Margaux Tillier, Núria Rovira

Publié: 18 juin 2020 • <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234853>

Abstrait

Une nouvelle méthode pour évaluer les sites archéologiques de zones humides d'une manière plus objective a été testée. Différents environnements de zones humides ont été échantillonnés dans des zones d'une réserve naturelle et leur contenu en macrobotanique a été analysé pour créer un ensemble de données analogiques modernes. Cet ensemble de données a ensuite été utilisé pour caractériser des échantillons archéologiques d'un chenal de navigation de la ville portuaire romaine de *Lattara*. Dans les échantillons analogiques modernes, les différents types de zones humides (saline / saumâtre ou eau douce) pourraient être différenciés dans l'analyse des correspondances. Au sein de ces groupes, la zone échantillonnée du littoral (submergée, riveraine, non immergée) pourrait également être différenciée. Cet ensemble de données peut donc fournir une base pour l'interprétation de la nature et du degré d'influence aquatique et des processus de formation des couches dans les archives archéobotaniques des sites côtiers. Dans les échantillons archéologiques testés du canal de navigation de *Lattara*, les changements dans l'espace et le temps ont pu être suivis à l'aide de l'ensemble de données analogiques modernes et des informations géoarchéologiques. Le chenal a perdu son approvisionnement en eau douce et s'est ensablé sur une courte période (environ 100 ans).

Référence: Steiner BL, Alonso N, Grillas P, Jorda C, Piquès G, Tillier M, et al. (2020) Environnements lagunaires languedociens et homme: construction d'une base de données de macroremain botanique analogique moderne pour comprendre le rôle de l'eau et de l'édaphologie dans la dynamique de sédimentation des vestiges archéobotaniques du port romain de *Lattara* (Lattes, France). PLoS ONE 15 (6): e0234853. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234853>

Editeur: Ceren Kabukcu, Université de Liverpool, ROYAUME-UNI

Reçu: 30 septembre 2019; **Accepté:** 3 juin 2020; **Publié:** 18 juin 2020

Copyright: © 2020 Steiner et al. Il s'agit d'un article en libre accès distribué sous les termes de la [licence d'attribution Creative Commons](#), qui permet une utilisation, une distribution et une reproduction sans restriction sur tout support, à condition que l'auteur et la source d'origine soient crédités.

Disponibilité des données: Toutes les données pertinentes se trouvent dans le manuscrit et ses fichiers d'informations complémentaires.

Financement: Cette recherche a été financée par le Fonds national suisse de la science (<http://www.snf.ch/>; bourse de mobilité post-doctorale précoce au BLS, projet nr. P2BSP1_178658) et soutenue par le LabEx ARCHIMEDE du programme «Investissement d'Avenir» ANR-11-LABX-0032-01 (<https://archimede.cnrs.fr/>). Les bailleurs de fonds n'ont joué aucun rôle dans la conception de l'étude, la collecte et l'analyse des données, la décision de publier ou la préparation du manuscrit.

Intérêts concurrents: les auteurs ont déclaré qu'il n'y avait pas d'intérêts concurrents.

1. Introduction

Les zones humides ont été un foyer important de l'activité humaine depuis la préhistoire en raison de leur large éventail de ressources précieuses, par exemple des ressources telles que la nourriture et l'eau, un transport facile sur les bateaux, la protection contre les conditions météorologiques extrêmes, la diversité des habitats, etc. [1, 2]. Ces environnements hautement dynamiques, sous de nombreux aspects, pourraient également mettre à rude épreuve la résilience de leurs habitants et conduire à un enchevêtrement complexe de facteurs naturels et culturels [3 - 5]. Mais une chose est restée constante: les niveaux d'eau changeants laisseraient des traces dans les sédiments archéologiques, qui peuvent être utilisées pour évaluer les réactions humaines à leur environnement changeant. L'interprétation et le démêlage de ces traces reste une tâche très difficile car il n'y a pas de données analogiques ou expérimentales modernes disponibles [6, 7].

L'utilisation d'ensembles de données analogiques modernes peut fournir un outil plus objectif pour interpréter les données archéobotaniques afin de permettre l'évaluation des conditions spécifiques des habitats passés. L'exemple le plus frappant est l'application des attributs fonctionnels des mauvaises herbes pour reconnaître les pratiques culturelles basées sur des assemblages archéobotaniques de mauvaises herbes (méthode FIBS, par exemple [8 - 10]). En combinaison avec l'utilisation de l'analyse des isotopes stables, cette méthode a conduit à des recherches informatives dans le domaine de l'agriculture précoce [11]. D'autres approches comprenaient les études d'assemblages modernes, par exemple concernant la transformation des céréales [12 - 14] ou la composition des excréments [15 - 17]; pour le pollen seulement voir [18, 19], afin de faire avancer les interprétations archéobotaniques. [20] ont comparé les données des relevés de végétation avec la litière dérivante néolithique tandis que [21] comparé les restes de plantes aux communautés végétales existantes du Doubs. Pour les micro-restes (pollen et phytolithes), les études de données analogiques modernes étaient généralement plus souvent intégrées dans les interprétations archéologiques

que pour les macro-restes [22 - 26]. [27] ont comparé des assemblages de phytolithes analogiques modernes de différents types de rizières et réalisé des études ethnographiques modernes afin d'éclairer l'interprétation des assemblages de phytolithes archéologiques [28].

Les données analogiques modernes sur les banques de graines, la végétation sur pied ou une combinaison de celles-ci ont déjà été comparées à des assemblages fossiles (mais non anthropiques) [29 - 33]. Des études de banques de graines analogiques modernes provenant d'environnements de zones humides ont également été utilisées pour l'interprétation des données archéobotaniques d'échantillons romains et médiévaux [34] ainsi que des sites néolithiques au bord du lac [35 , 36 , sur la base d'un ensemble de données par 37]. Hormis ces applications limitées, il y a un manque d'intégration des données archéobotaniques et des banques de graines analogiques modernes [38] malgré le fait que plusieurs études sur les banques de graines de divers habitats sont facilement disponibles (par exemple dans les habitats aquatiques et des zones humides: [39 - 49]). [38] a souligné les similitudes dans les principales questions de recherche entre les domaines de l'archéobotanique et de l'écologie lorsqu'il s'agit de lier la végétation sur pied avec le dépôt de graines associé et la survie dans le sol. Dans les deux cas, plusieurs problèmes taphonomiques compliquent le lien entre la banque de graines et la végétation sur pied (par exemple, variabilité de la production de graines, mode sélectif de conservation, perturbations post-sédimentation). En comparant directement la banque de graines analogique moderne à l'archéologique, au lieu de faire un détour par la végétation sur pied, plusieurs de ces problèmes peuvent être éliminés dans une certaine mesure (par exemple les différences de production de graines, la persistance des banques de graines, la préservation des graines, leur la dispersion, le transport des graines et l'absence de relation phytosociologique qui en résulte se produisent dans les banques de graines analogues et archéologiques modernes; [38 , 40 , 50 , 51]). Bien entendu, l'influence de l'activité humaine sur le milieu naturel représenté dans les échantillons archéologiques ne peut être clairement évaluée [38]. En examinant principalement ce qui est considéré comme étant des graines naturellement déposées, cette influence peut être diminuée. D'autres problèmes peuvent découler de cette approche, par exemple les changements anthropiques dans l'environnement (les zones humides en particulier ont été fortement affectées par l'homme, par exemple [2]) ou l'apparition d'espèces envahissantes dans des échantillons analogues modernes. Ce dernier peut être surmonté par l'utilisation de groupements écologiques au lieu d'espèces individuelles comme base de l'évaluation, où moins de valeur est attachée aux espèces inhabituelles. Certains problèmes subsistent, tels que l'échantillonnage et les différences méthodologiques. C'est pour cette raison que nous avons voulu tester l'utilité de la stratégie d'utilisation d'échantillons analogiques modernes afin d'interpréter des échantillons archéologiques [36] dans une autre région géographique et pour une autre période archéologique.

L'ancienne ville portuaire de *Lattara* était considérée comme un site approprié pour un tel projet, car elle était située à l'embouchure d'une rivière (la rivière Lez) au bord d'un lagon [52] et donc influencée par ces deux sources d'eau (Fig.1). *Lattara* est un poste de traite fortifié fondé vers le 5^{ème} siècle avant JC par des peuples indigènes, ainsi que des marchands étrusques et grecs, et principalement occupé jusqu'au 2^{ème} siècle après JC [53]. Le projet archéologique proprement dit concerne les installations portuaires situées à l'extérieur des murs, à partir desquelles on peut mettre en évidence un chenal de navigation et un quartier commercial / artisanal [54 - 57]. Les échantillons utilisés pour cet article proviennent de sédiments gorgés d'eau du chenal et sont globalement datés du 2^{ème} siècle avant JC au 2^{ème} siècle après JC, même si de nouvelles dates au ¹⁴ C effectuées sur l'un des échantillons de surface prolongent la chronologie de cette zone jusqu'au le 9^e siècle après JC [57].



Fig 1. Interprétation géomorphologique de la région et du littoral de *Lattara* à l'âge du fer et à l'époque romaine.

Le site de *Lattara* est marqué en rouge.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234853.g001>

Dans la Réserve Naturelle de la Grande Camargue, des échantillons analogues modernes comparables ont pu être trouvés dans une zone protégée moins anthropogénique qu'ailleurs. Cette zone est officiellement protégée depuis 1975, bien que les efforts de protection aient déjà commencé en 1927. Aujourd'hui, c'est un parc naturel régional, un site Ramsar, un site Natura 2000 et comprend plusieurs réserves naturelles et aires protégées non classées. À Lattes, les échantillons analogiques modernes proviennent des zones humides entourant le site archéologique.

Nos principales questions de recherche étaient les suivantes: (1) Les différents types de zones humides testés dans les échantillons analogiques modernes peuvent-ils être bien différenciés les uns des autres? (2) Est-il possible d'interpréter les processus taphonomiques et de formation dans les assemblages végétaux archéologiques du chenal de navigation de *Lattara* à partir d'échantillons analogiques modernes? (3) Quels types de zones humides (lagune, rivière) ayant influencé les écosystèmes autour du chenal de navigation de *Lattara* peuvent être différenciés dans les sédiments à l'aide de données analogiques modernes? (4) Dans quelle mesure l'eau a-t-elle influencé les sédiments du chenal de navigation de *Lattara* ?

2. Matériel et méthodes

2.1. Échantillons analogiques modernes (MAS)

Les sites d'étude de la base de données botanique analogique moderne macroremin étaient principalement basés dans les aires naturellement protégées de la Grande Camargue au début du mois de mars 2018 (Fig.2). Les échantillons analogiques modernes ont été prélevés dans des transects perpendiculaires au rivage le long des gradients d'humidité. Les longueurs des transects et le nombre d'échantillons ont été adaptés aux conditions des différents sites et ont suivi à peu près les communautés végétales sur le rivage. La salinité de l'eau ainsi que la végétation locale ont été enregistrées (voir [tableau S1](#), fiche «informations sur les

échantillons», pour la salinité, la classification en eau douce, saumâtre et saline et les espèces enregistrées). Quelques échantillons individuels supplémentaires ont été prélevés dans la région de Lattes, à env. À 1,5 km de l'endroit où se trouve le site archéologique, mi-juillet 2018 (Fig_3).



Fig 2. Sites échantillonnés en Camargue: La forêt riveraine de Tourtoulon , la lagune de l' étang de Vaccarès , le canal du canal du Japon et la lagune de l' étang de la Grande Palun .

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234853.g002>



Fig 3. Sites échantillonnés autour de Lattes: Les rives des rivières Lez et Lironde et deux canaux du secteur de Saint Sauveur .

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234853.g003>

2.1.1. Étang de Vaccarès.

Il s'agit d'une lagune large et peu profonde (67 km² , 1,4 m de profondeur moyenne; [58 , 59]), reliée indirectement au delta du Rhône et à la mer Méditerranée, elle est également fortement influencée par les précipitations et le vent et a donc des niveaux variables de salinité [58 , 60]. Au cours des 30 dernières années, la salinité a fluctué entre 4 et 32 PSU [61]. La lagune est protégée depuis 1927, mais est restée intacte pendant des siècles sauf en ce qui concerne la gestion de l'eau. Il reçoit les eaux de drainage des terres environnantes, y compris les champs agricoles et la connexion à la mer est gérée par des écluses.

Deux transects ont été échantillonnés sur cette lagune (avec l'autorisation de la Réserve Naturelle Nationale de Camargue). Un transect était proche d'un canal d'eau douce artificiel, mais l'eau était néanmoins saline pendant l'extraction de l'échantillon. Ce transect était le plus long de cette étude avec 7 échantillons répartis sur environ 250 m. L'autre transect était proche de la route et s'étalait sur seulement 35 m, mais seulement 3 (deux échantillons submergés et un du rivage) sur 5 ont été analysés en raison de la courte durée de ce projet. Lors de l'extraction des échantillons, l'eau de ce transect était également saline. La végétation sur pied aux deux transects comprenait principalement: *Sarcocornia fruticosa* (L.) AJ Scott, *Halimione portulacoides* (L.) Aellen, *Limbarda crithmoides* (L.) Dumort., Et *Symphyotrichum squamatum* (Spreng.) GL Nesom.

2.1.2. Canal du Japon.

Canal d'irrigation artificiel dans un ancien bras de rivière du Rhône (Bras de Fer, actif de 1587 à 1711; [62 , 63]), activé en 1754 avec de l'eau douce du Rhône [64 , 65]. Le canal reçoit l'eau de drainage de l'agriculture. C'est le seul site d'échantillonnage de Camargue qui n'est pas officiellement protégé.

Un transect a été échantillonné. Le transect s'est étendu sur environ 100 mètres, comprenant 4 échantillons, trois prélevés dans des conditions submergées. Lors de l'extraction des échantillons, l'eau du canal était saline. La végétation debout comprend principalement: *Sarcocornia fruticosa* (L.) AJ Scott, *Juncus maritimus* Lam., *Phragmites de* (Cav.) Steud., *Stuckenia pectinata* (L.) Börner et *Ruppia cf. cirrhosa* (Petagna) Grande.

2.1.3. Étang de la grande palun, La palissade.

Situé dans l'estuaire du Rhône (120 ha, profondeur moyenne: 0,6 m; [66]), influencé à la fois par le fleuve et la mer à des degrés divers. L'eau étant influencée par le Rhône, elle est aussi, dans une certaine mesure, polluée par des valeurs élevées d'azote dissous principalement liées à l'activité agricole. En raison de sa faible profondeur et de son exposition au vent, il est souvent trouble et ne contient donc pas beaucoup d'espèces aquatiques (par exemple, seulement deux espèces ont été trouvées sur neuf sites d'échantillonnage en 2010; pour les données complètes sur la richesse et la densité des espèces, voir [66 , p. 39, 67].

Un transect a été échantillonné ici, s'étalant sur environ 40 mètres, dont 5 échantillons (avec l'autorisation du Parc Naturel Régional de Camargue). Lors de l'extraction des échantillons, l'eau de cette lagune était saumâtre. La végétation sur pied comprenait principalement: *Phragmites australis* (Cav.) Steud., *Tamarix gallica* L., *Sarcocornia fruticosa* (L.) AJ Scott et l'espèce envahissante *Baccharis halimifolia* L.

2.1.4. Tourtoulouen.

Forêt riveraine (44ha) sur la rive droite du Grand Rhône qui est restée inutilisée depuis la fin des années 60 / début des années 70 (après la dernière récolte de bois) et protégée depuis 1987. La forêt est située entre la rivière et la digue et est donc entièrement exposé à l'influence fluviale. Il est encore parfois inondé [68], mais la succession est en cours: *Populetum albae* parmi d'autres communautés [69 , également 70 , 71]. Des prélèvements ont été effectués dans le secteur sud, où il y a moins d'érosion que dans le secteur nord (le secteur nord est situé à la sortie du méandre du Grand Rhône, alors que ce courant est dévié dans la partie sud, voir [72]).

Le transect de cette forêt s'étend sur environ 200 m, comprenant 5 échantillons. Lors de l'extraction des échantillons, l'eau du Rhône s'est avérée fraîche. La végétation debout principalement composée: *Populus alba* L., *Fraxinus angustifolia* Vahl, *Quercus ilex* L. et *Q. pubescens* Willd., *Hedera helix* L., *Rubus sp.* L., *Laurus nobilis* L. (qui est indigène mais a montré une forte augmentation de la population au sein de la communauté; [71]), et l'espèce envahissante *Amorpha fruticosa* L.

2.1.5. Lattes.

Deux échantillons ont été prélevés sur la rivière Lez au sud de Lattes. Actuellement, ce petit fleuve côtier méditerranéen traverse Lattes avant de se jeter dans la mer. Le site de *Lattara* était autrefois situé dans son delta [52], mais en raison de l'envasement progressif en cours, le delta est maintenant plus au sud. La salinité n'a pas été mesurée à cet endroit, mais a été supposée fraîche (comme toutes les eaux fluviales, voir par exemple [73]). La végétation permanente comprend principalement: *aristoloche clématite* L., *Convolvulus* L., *Urtica dioica* L. et les espèces envahissantes *Ludwigia peploides* (Kunth) PH Raven et L. *grandiflora* (Michx.) Greuter et Burdet.

Deux échantillons ont été prélevés sur la petite rivière Lironde, située à l'est de Lattes et se déversant dans la lagune du Méjean, comme le faisait la rivière Lez à l'époque romaine. Ce flux a été complètement asséché lors de l'extraction de l'échantillon en juillet 2018, bien qu'il soit probable que la sécheresse n'ait été que temporaire. La végétation sur pied comprenait principalement *Alisma cf. lanceolatum* Avec., *Typha sp.* L., *Beta vulgaris* L. et *Lythrum salicaria* L.

Deux échantillons ont été prélevés sur deux canaux près de la zone de Saint Sauveur juste au sud du site de *Lattara* et au nord de la zone protégée de la lagune de Méjean (Fig.3). L'un des canaux a également été complètement asséché lors de l'extraction de l'échantillon et on ne sait pas quand il a été submergé pour la dernière fois. L'eau de l'autre canal était fraîche lors de l'extraction des échantillons. La végétation sur pied comprenait principalement: *Iris pseudacorus* L., *Lythrum salicaria* L., *Fraxinus angustifolia* Vahl, *Verbena officinalis* L., *Althaea officinalis* L.

2.2. Échantillons archéologiques

Comme mentionné dans l'introduction, les échantillons archéologiques provenaient de la ville portuaire gallo-romaine de *Lattara*, importante enclave commerciale de l'Antiquité, datée du 5^e siècle avant JC au 2^e siècle après JC [53 , 74 , 75], même si les travaux archéologiques actuels montrent la survie des activités dans la zone portuaire au moins jusqu'au IX^e siècle après JC [57]. Ce site était situé à l'embouchure de la rivière Lez, au bord de la lagune « *stagnum latera* » mentionnée par l'histoire naturelle de Pline l'Ancien [52]. Au cours de l'ancienne occupation du site, le Lez a embrassé le site avec deux canaux (Lez occidental et oriental) formant un delta lobé, conduisant à la position du site comme une péninsule dans la lagune [52 , 76] (Fig.1), mais pendant à l'époque romaine, la zone portuaire, située à l'extérieur des murs sud de la ville, était déjà partiellement ensablée et de nouvelles installations furent construites [57].

Le site fait l'objet de fouilles et d'investigations interdisciplinaires sur une trentaine d'années, conduisant à un riche pool de données provenant d'une multitude de domaines différents: archéologie, palynologie, archéobotanique, archéozoologie, anthracologie, géoarchéologie, isotopes stables (par exemple [74] et articles y afférents; [52 , 76 - 87]). Les milieux naturels passés mis en évidence dans les études mentionnées ci-dessus comprennent les forêts de chênes et de rivières, les forêts à couvert étroit, ainsi que les environnements d'eau douce, saumâtre et saline. Les espaces ouverts comme les prairies et les pâturages, les zones rudérales et perturbées ainsi que les terres cultivées sont également bien documentés (voir les références mentionnées ci-dessus).

Pour cet article, un nombre très restreint d'échantillons archéologiques de ce site a été utilisé. Les échantillons n'ont été inclus que s'ils contenaient du matériel gorgé d'eau et n'avaient pas été séchés avant l'analyse, ce qui a donné seulement 10 échantillons (sur > 200) comme base de comparaison dans cette étude. Ces 10 échantillons provenaient tous d'une structure interprétée comme un canal de navigation au sud - ouest du site à la périphérie de la ville et daté, à l'époque romaine [54 - 57] (figure 4). Ces échantillons contenaient principalement des déchets anthropiques. Cependant, on peut supposer que le matériel végétal de ces échantillons provenait au moins en partie de sources naturelles. Les échantillons provenaient de trois positions (Fig.4 zones 204, 205, Fig.5), s'étendant sur quatre siècles continus d'occupation. Dans la zone 204, des échantillons ont été prélevés à partir d'un levé, réalisé avec une excavatrice en 2016, pour atteindre les couches les plus basses du chenal [88 , 89] (Fig.6 ; 204097-1 (1/50), 204089-1 (100 / 150), 204083-1 (150/200)). Dans la zone 205, des échantillons de deux positions ont été testés. À un endroit, trois échantillons de surface et un échantillon de profil provenant de couches différemment datées ont été analysés en 2017 [90] (Fig.7 ; 205031-2 (-175 / -100; ¹⁴C 259/108 cal BC), 205038-1 (150 / 200), 205013-1 (175/225), 205046-1 (¹⁴C 771/903 cal AD, probabilité médiane 849)). À l'autre position, trois échantillons de surface des bords du chenal et légèrement plus anciens, ont été analysés en 2018 [91] (Fig.8 ; ils ont été choisis pour représenter les deux côtés du chenal; 205124-1 (-125; ¹⁴C -169/3 cal BC / AD, probabilité médiane -79), 205176A et B (-175, -100)).

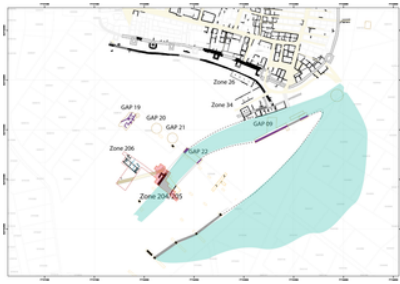


Fig 4. Position des zones 204 et 205 à Lattara , où les échantillons archéologiques utilisés dans la comparaison ont été prélevés.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234853.g004>

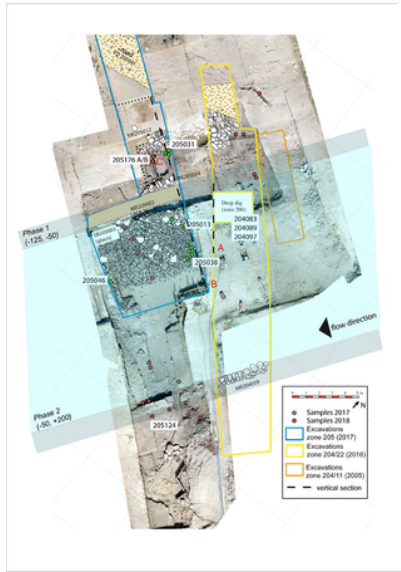


Fig 5. Échantillons archéologiques utilisés pour la comparaison avec le MAS.
 Les 10 échantillons sont indiqués par leurs numéros d'échantillons.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234853.g005>

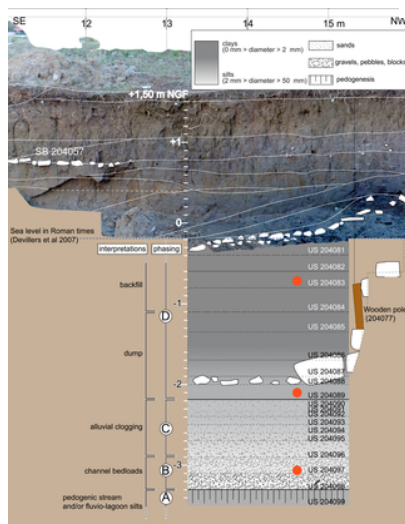


Fig 6. Stratigraphie des échantillons étudiés en 2016.
 (M. Tillier) dans la zone 204 (en rouge) et comparé ici avec MAS.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234853.g006>

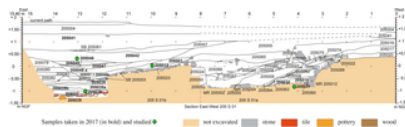


Fig 7. Stratigraphie des échantillons prélevés (en gras) et étudiés (en vert) en 2017 (É. Delbois, N. Rovira) dans la zone 205 et comparés ici à la MAS.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234853.g007>

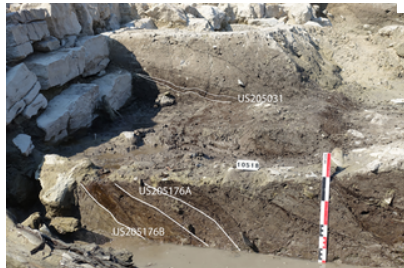


Fig 8. Stratigraphie de deux échantillons étudiés en 2018.

(B. Steiner) dans la zone 205 (US 205176A et B) et comparés ici avec MAS.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234853.g008>

2.3. Méthodes

2.3.1. Échantillons analogiques modernes (MAS).

Un tube d'échantillonnage de 25 cm de diamètre a été utilisé pour échantillonner les 5 cm les plus élevés du sol, ce qui a donné des échantillons d'environ 2 litres. Des échantillons en Camargue ont été collectés début mars 2018, avant germination. Des échantillons supplémentaires autour de Lattes ont été prélevés en juillet 2018 pour représenter une plus grande diversité d'habitats d'eau douce.

Les emplacements où les MAS ont été prélevés ont été classés comme étant prélevés dans des conditions **submergées** (représentant probablement le sous- **littoral**), du **rivage** (à la transition entre l'eau et la terre) ou **non submergées** (vers la terre ferme , représentant probablement les conditions eulittorales, supralittorales et épilittorales). Ces classifications reflètent les conditions dans lesquelles les échantillons ont été prélevés et peuvent varier beaucoup à d'autres moments (saisonniers mais aussi en ce qui concerne les changements de courte durée dus à de fortes pluies, etc.).

Les échantillons ont été tamisés en utilisant la méthode de lavage [92 , 93 , 94], qui a été effectuée par le même opérateur. La plupart des échantillons ont été traités avec un prétraitement à la congélation avant le tamisage, ce qui permet de désintégrer doucement les concrétions [95]. Cela a été particulièrement utile car de nombreux échantillons étaient très limoneux. Des mailles de 4, 1, 0,5 et 0,25 mm ont été utilisées afin de s'adapter à la méthodologie déjà utilisée pour le tamisage des échantillons archéobotaniques. Les volumes ont été mesurés en utilisant le volume de déplacement [96]. Les échantillons ont été séchés après le processus de tamisage, après un test initial qui a indiqué que les restes de plantes modernes n'étaient pas trop fortement affectés par ce processus: trois échantillons de test ont été triés tout en étant humides et séchés seulement après avoir été triés. Le matériau trié a ensuite été séché et vérifié à nouveau pour voir comment les restes avaient changé pendant le processus de séchage. Contrairement aux vestiges archéobotaniques, le matériau analogique moderne était beaucoup plus résistant au processus de séchage et ne se cassait pas facilement.

Pour le tri, un stéréomicroscope Euromex NexiusZoom (grossissement 6,5-45x) a été utilisé. Les restes de graines et de fruits ont été triés et quantifiés entièrement sur la base des unités de comptage [97]. Divers autres composants macroscopiques des sédiments dans les fractions organiques (tels que les feuilles, les gastéropodes, les bivalves, les ostracodes, etc.) ont été semi-quantifiés (sur la base d'une échelle simplifiée par [98]). Les plus petites fractions de tamisage étaient généralement sous-échantillonnées (en fonction du volume et de la richesse des fractions).

L'identification des restes végétaux a été réalisée à partir de la collection de référence de semences du laboratoire d'archéobotanique ASM de l'université de Montpellier, du matériel de référence collecté dans le cadre de ce projet et de la littérature [99 , 100]. Il n'a pas été possible de déterminer tous les restes végétaux au niveau de l'espèce en raison de l'absence de matériel de référence sur les semences (certaines espèces végétales ne peuvent pas être déterminées à l'aide de photos uniquement). Si possible, le matériel de référence manquant a été collecté sur le terrain, mais en raison des différentes périodes de maturation des diaspores et de la rareté de certaines plantes présentes, cela n'a pas été possible pour chaque famille de plantes.

ArboDat [101] a été utilisé pour enregistrer les échantillons. En utilisant ce logiciel largement utilisé en archéobotanique, les données analogiques modernes peuvent être réutilisées et distribuées entre collègues.

2.3.2. Échantillons archéologiques.

Les échantillons utilisés pour la comparaison ont été prélevés et analysés sur plusieurs années (2016-2018) et la méthodologie ainsi que les personnes traitant les échantillons variaient. Sept échantillons ont été tamisés par voie humide, tandis que trois échantillons ont été traités avec la même méthodologie de tamisage que les échantillons analogiques modernes, en utilisant un tamisage par lavage ([tableau S2](#) , fiche «informations sur les échantillons»). Des mailles de tamisage de 4, 1, 0,5 mm ont été utilisées dans tous les cas et de 0,25 mm dans certains cas, bien que cette fraction n'ait été analysée que pour les trois échantillons traités par tamisage par lavage.

L'identification des restes végétaux a été réalisée à partir de la collection de référence de semences du laboratoire d'archéobotanique ASM de l'université de Montpellier et de la littérature, par exemple [99 , 100].

Le système d'information archéologique (AIS) Syslat-Terminal 5 a été utilisé pour enregistrer tous les échantillons de ce site. Ce système relie directement les résultats archéobotaniques aux caractéristiques archéologiques et aux résultats d'autres disciplines telles que la palynologie, l'archéozoologie et l'antracologie [102 , 103].

2.3.3. L'analyse des données.

La classification en groupements écologiques a été effectuée sur la base de diverses publications phytosociologiques et botaniques [100 , 104 - 108 , www.infoflora.ch ; www.tela-botanica.org]; pour le zonage de la végétation le long des rives, voir par exemple [109 , chapitre 9.3] (rivière) et [110 , p.18] (marais saumâtre). Les characées ont été attribuées aux plantes aquatiques favorisant les conditions oligotrophes parce que beaucoup de leurs espèces représentatives préfèrent de telles conditions [111]. Il n'a pas été possible d'identifier plus en détail les oospores de Characeae dans ce court laps de temps. L'identification des Characeae est assez difficile: une collection de référence complète d'oospores comprenant toutes les espèces présentes ou une clé détaillée de la région est nécessaire pour le faire. Il n'a pas non plus été possible d'identifier les Amaranthaceae plus en détail car le matériel de référence manquant n'a pu être collecté que tard dans l'année (la plupart des espèces de cette famille ne fleurissent qu'en juillet ou plus tard) et pas pour toutes les espèces nécessaires. La nomenclature suit [108].

L'analyse des données a été réalisée à l'aide d'une analyse de correspondance (basée sur la densité d'une espèce au sein de groupements écologiques) dans le programme PAST 3.16 [112]. Trois échantillons de sources d'eau complètement desséchés lors de l'échantillonnage ont été exclus, mais vérifiés comme variables supplémentaires à l'aide de l'outil AnalyseSHS de l'Université Panthéon-Sorbonne exécutant automatiquement un script R (<http://analyse.univ-paris1.fr/>). Ils n'ont finalement pas été inclus car ils n'ajoutaient pas de valeur aux résultats (le dessèchement avait affecté les échantillons de manière imprévisible). L'analyse a été effectuée sur la base de regroupements écologiques de plantes aquatiques et de plantes des zones humides, bien que des espèces de plantes aquatiques et des zones humides individuelles aient également été testées séparément et ont donné des résultats très similaires. Notre attente concernant l'analyse de correspondance était d'obtenir des groupes indicatifs des échantillons analogiques modernes qui peuvent être utilisés pour classer les échantillons archéologiques.

3. Résultats

3.1. Résultats généraux du MAS

Les densités de restes végétaux variaient en général considérablement d'un échantillon à l'autre et atteignaient un maximum de 7103 restes / litre (ci-après r / l) pour un minimum de 12,7 r / l, avec une moyenne de 1418,9 r / l par échantillon et une médiane de 532,7 r / l ([tableau 1](#)). Cette grande variation parmi les échantillons était très probablement causée par la nature différente des sites d'échantillonnage, bien qu'aucun lien général n'ait pu être établi entre les types d'habitats et la densité des restes végétaux. Le nombre de taxons variait entre 72 et 5, avec une moyenne de 19,1 et une médiane de 15. Dans la plupart des échantillons, les plantes aquatiques et des zones humides constituaient la majorité des restes végétaux, en moyenne 80% (voir [tableau S1](#) pour la classification des groupements écologiques). Cependant, dans certains échantillons, ce pourcentage pourrait être beaucoup plus faible: dans trois des échantillons autour de Lattes et dans l'échantillon le plus éloigné des terres du transect de la forêt riveraine de Tourtoulou, les restes de plantes aquatiques et humides constituaient moins d'un tiers de tous les restes. D'autres échantillons à faible densité de plantes aquatiques et de zones humides (mais aussi d'autres restes de plantes) ont pu être trouvés dans les deux échantillons de conditions submergées du deuxième transect du Vaccarès, mais tous les échantillons contenaient plus de 10r / l de plantes aquatiques ou humides. restes. Les échantillons du canal du Japon présentaient, en général, des densités très élevées de plantes aquatiques et humides, tout comme un échantillon de la Lironde.

Site name	Sample no.	Density total (r/l)	Density aquatic and wetland plants (%)	Density other plants (%)	% aquatic and wetland plants
Lironde	V_T2_P1	1010	4528.4	17.0	81.6
Lironde	V_T2_P2	362	42.8	14.7	79.3
Isle	V_T3_P1	89.6	29.0	79.4	32.2
Isle	V_T3_P2	348.0	176.3	50.9	32.2
Saint-Sauveur	V_T5_P1	200.0	3796.0	19.1	87.7
Saint-Sauveur	V_T5_P2	100.0	13.3	107.3	3.6
Étang de la Grande Pêche	V_T1_P1	2146.3	2746.0	6.3	98.0
Étang de la Grande Pêche	V_T1_P2	2000.3	2000.0	6.3	98.2
Étang de la Grande Pêche	V_T1_P3	2187.2	231.3	7.6	96.6
Étang de la Grande Pêche	V_T1_P4	349.0	349.0	3.8	98.8
Étang de la Grande Pêche	V_T1_P5	631.0	436.8	17.2	96.2
Canal du Japon	V_T2_P1_1	5179.2	5225.2	120.0	97.6
Canal du Japon	V_T2_P1_2	4919.0	3893.7	107.8	81.3
Canal du Japon	V_T2_P1_3	5232.2	3096.4	636.6	61.1
Canal du Japon	V_T2_P1_4	2704.0	2704.0	200.0	69.4
Tourtoulou	V_T3_P1	96.0	71.6	13.0	74.4
Tourtoulou	V_T3_P2	779.0	425.3	153.0	54.6
Tourtoulou	V_T3_P3	104.2	378.4	10.8	83.0
Tourtoulou	V_T3_P4	110.0	66.6	1.6	60.5
Tourtoulou	V_T3_P5	118.0	18.8	117.8	8.8
Étang de Vaccarès	V_T2_P1	861.0	854.8	6.3	98.7
Étang de Vaccarès	V_T2_P2	12.0	6.0	6.0	50.0
Étang de Vaccarès	V_T2_P3	17.0	17.0	0.0	100.0
Étang de Vaccarès	V_T2_P4_1	2179.2	963.3	386.0	58.0
Étang de Vaccarès	V_T2_P4_2	118.4	346.7	2.8	80.3
Étang de Vaccarès	V_T2_P5	2104.0	2104.0	71.0	96.9
Étang de Vaccarès	V_T2_P6	101.0	96.0	7.0	96.1
Étang de Vaccarès	V_T2_P7	107.0	151.3	256.3	36.0
Étang de Vaccarès	V_T2_P8	186.0	273.8	67.0	68.2
Étang de Vaccarès	V_T2_P9	1327.0	1260.3	34.1	87.4

Tableau 1. Densités et pourcentages de végétaux restant dans les échantillons analogiques modernes.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234853.t001>

L'échantillon le plus éloigné de la rive du premier transect du Vaccarès et celui de la Lironde contenait les plus fortes densités de plantes des habitats terrestres.

3.2. Analyse de correspondance MAS

L'analyse de correspondance (AC) a été réalisée avec 27 échantillons analogiques modernes, basés sur des groupements écologiques d'espèces aquatiques et humides. Lors de la réalisation initiale de l'analyse de correspondance avec les 30 échantillons, l'inclusion des trois échantillons prélevés sur des rivières ou des canaux asséchés a créé trop de bruit, et ces trois échantillons ont donc été exclus (bien qu'ils soient inclus dans le [tableau 1](#) et leur positionnement comme des variables supplémentaires de l'AC ont été vérifiées; les échantillons exclus de la Lironde (L_T2_P1 / P2) regroupés étroitement à l'échantillon L_T5_P1, tandis que l'échantillon exclu de Saint-Sauveur (L_T5_P2), qui ne comprenait que 3,6% des plantes aquatiques et avec les échantillons V_T2_P1_1, V_T2_P3 et R_T2_P4).

Le biplot résultant de l'AC suggère trois grands regroupements parmi les emplacements échantillonnés en fonction de la densité des groupements écologiques ([figure 9A](#)). Plantes forestières riveraines et carrossables positionnées sur les côtés positifs des deux axes. Plantes aquatiques favorisant les conditions oligotrophes ainsi que méso- / eutrophes, roselières et carex des marais et pionniers du littoral positionnés du côté négatif de l'axe 1, mais du côté positif de l'axe 2. Plantes riveraines tolérantes au sel ainsi que plantes des zones humides non attribuées positionnées sur le côté positif de l'axe 1, mais sur le côté négatif de l'axe 2. Le positionnement des échantillons individuels peut être vu sur la [figure 9B](#). Des échantillons de Tourtoulon (fleuve Rhône) et de la rivière Lez ont été regroupés sur les côtés positifs des deux axes avec des bois riverains et des plantes de char. Les échantillons provenant de conditions non immergées se trouvaient sur la marge extérieure tandis que les échantillons provenant de conditions immergées et du rivage se répandaient davantage vers le milieu. Des échantillons provenant de conditions d'eau saline et saumâtre en Camargue regroupés dans les trois autres parties du graphique. La plupart des échantillons provenant de conditions non immergées sont positionnés du côté positif de l'axe 1, mais du côté négatif de l'axe 2, les échantillons du rivage s'étalant davantage vers le milieu. Le seul échantillon de conditions non immergées regroupant des échantillons de conditions submergées était un échantillon d'une ceinture de roseaux de l'étang de la Grande Palun. Les échantillons prélevés dans des conditions immergées regroupés sur le côté négatif de l'axe 1.

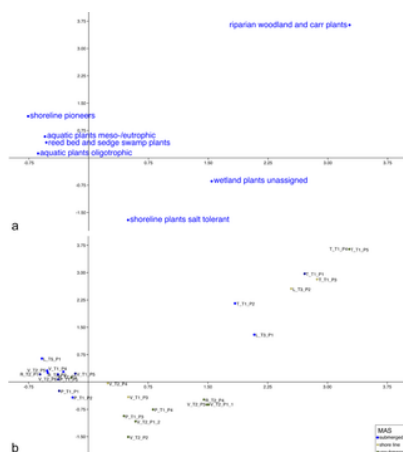


Fig 9. Graphique CA basé sur les valeurs de densité de groupements écologiques de plantes aquatiques et humides dans des échantillons analogiques modernes.

(a) Colonnes, (b) lignes. Pourcentage de variation expliquée par les deux premières dimensions de l'AC: 58,1%.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234853.g009>

Lors de la réalisation de l'AC basée sur des espèces individuelles d'espèces aquatiques et humides, les résultats étaient similaires. L'échantillon de ceinture de roseaux de l'étang de la Grande Palun a été séparé des échantillons submergés et groupé avec des échantillons du rivage et des échantillons provenant de conditions non immergées. Cependant, l'échantillon d'un canal près du secteur de Saint-Sauveur est encore regroupé avec des échantillons submergés provenant de contextes d'eau saline et saumâtre.

3.3. Résultats généraux des échantillons archéologiques

Les résultats généraux des échantillons pour la comparaison avec MAS ont déjà été en partie discutés par [88 - 91]. Par conséquent, les principaux résultats concernant les restes gorgés de plantes aquatiques et humides seront présentés ci-dessous (voir [tableau S2](#) avec la classification des groupements écologiques).

Les échantillons contenaient en moyenne 747,7 r / l de plantes aquatiques et des zones humides, mais il y avait également une grande variation entre les échantillons. L'échantillon le plus riche (205038-1) contenait 1821 r / l de plantes aquatiques et des zones humides, tandis que l'échantillon le plus pauvre (204097-1) ne contenait que 3,3 r / l. Dans ces échantillons, les plantes aquatiques et des zones humides représentaient une proportion beaucoup plus faible du total, en moyenne seulement 22,9%. Les groupements écologiques de plantes aquatiques provenant de conditions méso- / eutrophes et de plantes de terres humides non attribuées sont apparus dans les densités les plus élevées, tandis que les plantes de terres boisées et de carottes riveraines ainsi que les plantes de rivage tolérantes au sel sont apparues dans les densités les plus faibles.

3.4. Analyse de correspondance MAS et échantillons archéologiques

En incluant les échantillons archéologiques dans l'analyse de correspondance du MAS, la distribution de ce dernier n'a pas beaucoup changé ([Fig. 10A](#)). La répartition des groupements écologiques était similaire à celle de la section 3.2, bien que le groupe de plantes riveraines tolérantes au sel soit maintenant positionné sur les côtés négatifs des deux axes, plus loin du groupe de plantes des zones humides non attribuées. Les MAS étaient également regroupés de la même manière que dans la section 3.2. Les échantillons archéologiques de la zone 204 répartis sur des échantillons analogiques modernes allant des conditions submergées (échantillon le plus bas 204097-1) au MAS du rivage (échantillon au milieu 204089-1) aux conditions non immergées (échantillon le plus élevé 204083-1; [Fig. 10B](#)). Les échantillons de la zone 205 (2017) sont tous regroupés avec MAS à partir de contextes submergés. Trois de ces échantillons (205031-1, 205013-1, 205038-1) avaient une composition unique, ce qui les distinguait du MAS et légèrement dans la direction du MAS à partir des contextes riverains. Le dernier et le plus haut des échantillons de cette zone (205046-1) regroupés avec des échantillons immergés à l'autre extrémité de l'axe 2. Les deux échantillons de la zone 205 (2018) d'un côté du chenal (205176A, 205176B) regroupés avec des échantillons non immergés MAS tandis que l'échantillon de l'autre côté (205124-1) est groupé avec MAS du rivage.

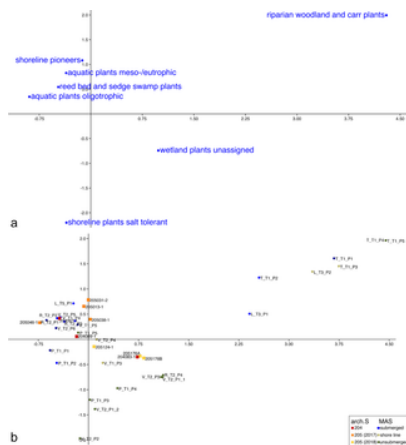


Fig 10. Graphique CA basé sur les valeurs de densité de groupements écologiques de plantes aquatiques et de zones humides dans des échantillons analogiques et archéologiques modernes.

(a) Colonnes, (b) lignes. Pourcentage de variation expliqué par les deux premières dimensions de l'AC: 51,5%.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234853.g010>

Une AC utilisant des espèces individuelles a également été réalisée, mais elle a été plus difficile à interpréter, certainement au moins en partie en raison des espèces envahissantes dans la MAS, provoquant principalement la séparation du MAS des échantillons archéologiques sur une majorité de dimensions. L'ensemble individuel d'espèces d'un échantillon a superposé la plupart des effets dus aux différents habitats.

4. Discussion

4.1 La séparation des différents types de zones humides dans le MAS

Les échantillons analogiques modernes ont été triés en groupes concluants dans l'analyse de correspondance, malgré le fait que dans certains cas, les diaspores n'ont pas pu être identifiées au niveau du genre ou de l'espèce.

Des échantillons analogiques modernes provenant de lagunes d'eau saline et saumâtre pourraient être bien différenciés des échantillons de grandes rivières d'eau douce (Rhône, Lez, Fig 9). Cette séparation était également présente si des espèces individuelles et non des groupements écologiques étaient utilisés comme base dans l'analyse des correspondances. Bien que les banques de graines des environnements d'eau saline ne soient pas souvent directement comparées à celles des environnements d'eau douce, il semble y avoir de grandes différences entre elles, ce qui pourrait être une explication de cette nette séparation. [113] ont constaté que les banques de semences jouent un rôle beaucoup plus important dans les marais d'eau douce à marée que dans les marais salés, tandis que [51] ont trouvé des différences dans les banques de semences entre les trois principaux habitats, les forêts, les prairies et les zones humides. Dans une étude sur la variabilité environnementale des ostracodes, [114] a constaté que la proximité des canaux fluviaux influence la composition des espèces de ces petits crustacés dans différents types de lagunes et d'environnements marins.

Dans les deux grands groupes d'échantillons d'eau saline et saumâtre et d'échantillons d'eau douce (de grandes rivières), les échantillons prélevés dans des conditions submergées (sublittorales) pourraient également être séparés des échantillons prélevés dans des conditions non immergées (eu littorales, supralittorales et épilittorales). Comme il n'y avait pas autant d'échantillons d'eau douce (provenant de grandes rivières), ces résultats pour ce groupe doivent être confirmés dans d'autres expériences, d'autant plus que les échantillons du rivage ne pouvaient pas vraiment être différenciés des échantillons provenant de conditions submergées. Pour les échantillons d'eau saline et saumâtre, cette séparation des échantillons des conditions immergées des échantillons des conditions non immergées était plus claire, car davantage d'échantillons ont été testés. Un seul échantillon de conditions non immergées (P-T1-P5, Fig 9) regroupés avec des échantillons provenant de conditions immergées. Cet échantillon a été prélevé dans une ceinture de roseaux loin derrière le rivage (au moment de l'échantillonnage) et contenait de nombreuses diaspores de roselières et de plantes marécageuses de carex (notamment *Schoenoplectus sp.* Et *Phragmites australis*), qui étaient responsables de ce placement, car l'échantillon ne contenait aucune plante aquatique. Si l'analyse des correspondances a été effectuée sur la base d'espèces plutôt que de groupements écologiques, cet échantillon a été regroupé «correctement» avec les autres échantillons provenant de contextes non immergés. Cela démontre pourquoi les espèces individuelles devraient également être testées si possible. Cependant, il est également probable que cette zone soit en fait placée dans des conditions submergées à d'autres moments de l'année. Des échantillons du rivage regroupés entre les groupes submergés et non immergés, comme on pouvait s'y attendre. Comme ils n'étaient pas très nombreux, il conviendrait de tester à l'avenir si cette séparation des échantillons du rivage est vraiment fiable. Jusqu'à présent, des études sur les relations entre la profondeur de l'eau et les semis émergents dans des expériences [115, 116] confirment également la relation entre le niveau d'eau et la végétation riveraine (reflétée dans la banque de graines).

Dans les échantillons provenant de conditions immergées, aucune différence en fonction de la profondeur du lieu d'échantillonnage n'a pu être observée. Cela pourrait également être dû au fait que les échantillons n'étaient pas prélevés à de grandes profondeurs, car les lagunes échantillonnées n'étaient généralement pas très profondes et les échantillons devaient être prélevés à distance (le matériel de plongée n'était pas disponible). Il convient de tester plus avant si les échantillons submergés de plus grandes profondeurs peuvent être séparés, mais les différences de moins d'un mètre ne peuvent pas être distinguées sur la base des données actuelles, ce qui pourrait également être dû au fait que les plans d'eau testés étaient tous plutôt peu profonds.

Les échantillons de petits canaux d'eau douce n'ont pas été regroupés avec les échantillons d'eau douce (provenant de grandes rivières), mais plutôt avec des échantillons de lagunes d'eau saline et saumâtre (L-T5-P1, Fig 9). Il en est de même pour les deux échantillons de la petite rivière d'eau douce Lironde. Cependant, la Lironde ainsi que l'un des petits canaux d'eau douce ont été asséchés lors de l'extraction de l'échantillon et les résultats pourraient donc ne pas être fiables, c'est pourquoi ces trois échantillons ont été exclus de la base de données finale du MAS (ils ont été testés en tant que variables supplémentaires avant exclusion). Les échantillons comparatifs autour de Lattes n'ont pu être extraits à la même période de l'année que ceux de Camargue, car ils

n'étaient pas prévus au début du projet (d'une durée d'un an seulement). Il reste à vérifier si ces échantillons auraient donné de meilleurs résultats comparables s'ils avaient été prélevés au cours de la même saison ou du moins à une époque où les cours d'eau et les chenaux n'étaient pas asséchés.

Une identification plus détaillée des Amaranthaceae et des Characées pourrait probablement encore améliorer les résultats, si le matériel de référence nécessaire peut être collecté et comparé à l'avenir. De plus, aucun échantillonnage répété n'a été possible dans cette étude, et il n'est donc pas clair dans quelle mesure un échantillon représente un habitat. Il serait également bon de tester cela dans des études.

Le delta du Rhône est entièrement remblayé depuis le milieu du 19^{ème} siècle avec une gestion intensive de l'eau et la présence d'espèces exotiques montre une certaine influence des activités humaines sur la végétation. Cependant, c'est l'une des zones humides côtières les plus préservées de France et les relations entre les facteurs environnementaux et la végétation restent pertinentes dans le cadre de l'étude. En prélevant des MAS de cet environnement moins anthropogénique en combinaison avec des échantillons de la zone d'où proviennent les échantillons archéologiques, nous pensons avoir créé une base de données solide afin d'interpréter les échantillons archéologiques de *Lattara*. En outre, ces données pourraient également être utilisées pour interpréter divers autres sites archéologiques côtiers.

4.2 Types de zones humides représentés dans les échantillons archéologiques

De nombreux échantillons du site de *Lattara* contenaient des plantes aquatiques et / ou des zones humides. Ces types de plantes ont trouvé leur chemin dans les sédiments de différentes zones, comme cela a déjà été montré dans d'autres articles sur le site, par exemple [79 , 81]. Bien entendu, on ne peut pas automatiquement supposer que les restes de plantes sauvages se sont retrouvés dans les sédiments par des causes naturelles. Il se peut que les diaspores aient été carbonisées ou aient été trouvées dans des contextes particuliers (comme le contenu de vases), c'est même hautement improbable. Pour cette raison, seule une petite sélection d'échantillons provenant d'un contexte similaire (un canal) a été utilisée pour la comparaison avec MAS. De plus, il y avait des différences méthodologiques dans le traitement des échantillons archéologiques, comme l'utilisation de différentes techniques de récupération, qui peuvent éventuellement avoir un impact sur les dénombrements de diaspores, voir [94 , 117 , 118]. Ces différences méthodologiques n'étaient pas un thème principal de ce projet, mais elles devraient être examinées plus en détail à l'avenir. Néanmoins, les restes de plantes aquatiques et des zones humides ont trouvé leur chemin dans les sédiments d'une manière ou d'une autre et pourraient donc encore donner des indications sur les conditions sur le site ou à proximité. On suppose que les plantes aquatiques et des zones humides dans les échantillons du chenal de navigation y ont abouti par un transport local ou régional non intentionnel [79 , 119].

En comparaison avec le MAS, aucun des échantillons archéologiques n'a été directement regroupé avec des échantillons d'eau douce de grands fleuves (Fig.10). Cela pourrait avoir plusieurs raisons en plus de l'absence d'influence directe du Lez (ou de ses deux branches principales) sur le site.

Certains taxons des forêts riveraines ne se trouvent normalement pas dans les sites archéologiques car ils sont plutôt fragiles (comme les capsules de *Salix* et *Populus*, les graines de *Fraxinus angustifolius*) et certains des taxons végétaux typiques des forêts riveraines observés lors de l'extraction du MAS (par exemple, *Rubus ulmifolius* dans l'agrégat de *Rubus fruticosus*) aurait pu également être utilisé comme plante alimentaire sur le site archéologique et n'a donc pas été pris en compte dans l'évaluation des échantillons archéologiques. La problématique des diaspores robustes de plantes consommées avec des fruits contenant de nombreuses petites graines souvent trouvées dans des échantillons de rivières devrait être examinée plus en détail à l'avenir (en MAS, les diaspores de *Actinidia sp.* et *Ficus carica* sont également souvent apparus, comparés à [34 , 40]).

Comme mentionné dans la section 4.2, il est possible que les échantillons provenant de petits cours d'eau douce ou de canaux d'eau douce ne puissent pas être bien séparés, un facteur supplémentaire expliquant pourquoi l'influence des sources d'eau douce dans les échantillons archéologiques ne peut être exclue sur la base de la base de données actuelle de MAS. Certains échantillons provenant de l'intérieur du chenal de navigation se sont regroupés vers MAS à partir de contextes riverains et à proximité de l'échantillon d'un chenal d'eau douce près de Saint-Sauveur. La manière dont le chenal de navigation a été construit et connecté n'est pas encore tout à fait claire, bien que l'on suppose qu'il était lié au Lez oriental et à la lagune [54 , p. 135]. Sur la base de la comparaison d'échantillons archéologiques du chenal de navigation avec des données analogiques modernes, une possibilité est que l'eau du Lez a été diluée par la lagune et a perdu ses caractéristiques typiques d'un grand ruisseau d'eau douce en entrant dans le chenal de navigation (en supposant que les problèmes de conservation mentionnés ci-dessus n'ont pas joué de rôle décisif). Une étude portant sur les relevés polliniques de deux lagunes languedociennes voisines a révélé de faibles quantités de pollen provenant de sources fluviales (à l'exception d' *Alnus*, qui est un grand producteur de pollen), les conduisant à l'hypothèse que les sources fluviales avaient une influence mineure sur ces lagunes [120]. L'autre possibilité est que le chenal de navigation ne possédait pas les mêmes propriétés qu'une grande rivière d'eau douce typique, mais plutôt celles d'un plus petit chenal comme le MAS testé à Lattes près du secteur de Saint-Sauveur.

Il semble probable que les sources d'eau saline ou saumâtre aient également eu une influence sur au moins une partie des échantillons archéologiques examinés, ce qui est également corroboré par les découvertes occasionnelles de plantes typiques des marais salants comme *Sarcocornia / Salicornia*, par exemple [79 , 90], confirmant la présence de cet habitat dans les archives archéobotaniques après qu'il a déjà été prédit dans d'autres zones du site par des découvertes archéozoologiques [82] et anthracologiques [86 , 121]. L'origine de ces vestiges reste à déterminer. La comparaison avec le MAS suggère que les marais salés n'étaient pas trop importants à proximité directe des échantillons testés. De plus, dans l'AC, y compris les échantillons archéologiques, le groupement écologique des plantes riveraines tolérantes au sel est groupé plus loin du groupement écologique des plantes des zones humides non attribuées, ce qui pourrait signifier qu'il existe une différenciation plus forte entre ces groupes dans les échantillons archéologiques (probablement causée par la quantité élevée d'Amaranthacées indéterminées dans le MAS). Il est donc probable que des environnements plus éloignés comme le littoral ou la plage barrière soient représentés dans les échantillons archéologiques. Il ne peut être exclu que *Sarcocornia / Salicornia* aient été délibérément amenés sur le site. Dans tous les cas, les échantillons archéologiques n'ont pas été sédimentés directement dans un environnement de marais salé.

4.3 Degré d'influence de l'eau dans les échantillons archéologiques

En ce qui concerne la présence de l'influence de l'eau dans les échantillons de *Lattara*, les échantillons étudiés se sont étalés sur tout le spectre de MAS, des conditions immergées aux conditions non immergées. Bien entendu, cela ne précise pas nécessairement si les sédiments archéologiques se sont principalement formés sous l'eau ou non. Cela pourrait également indiquer le degré d'influence de l'eau après la formation d'un sédiment archéologique, mais non scellé contre une sédimentation

supplémentaire. Dans cette optique, on peut dire que certains échantillons archéologiques ont été fortement influencés par l'eau, d'autres moins. Cependant, il n'y avait pas de modèle clair, de sorte que les contextes des échantillons individuels doivent être considérés séparément.

Dans les échantillons de la zone 204 [88 , 89], l'échantillon stratigraphiquement le plus bas semble être le plus fortement influencé par l'eau, et cette influence diminue vers la surface. Cela aurait pu être lié au remplissage du canal de navigation [54].

Dans les échantillons de la zone 205 de l'année 2017 [90], trois échantillons regroupés avec un MAS submergé, mais étaient quelque peu à l'écart du reste des échantillons car ils avaient une composition spéciale avec de nombreux pionniers du littoral, et regroupés un peu plus vers la forêt riveraine. MAS. Les points échantillonnés du chenal de navigation doivent avoir été recouverts d'eau lors de la sédimentation de ces trois échantillons au cours du processus de remplissage. Le quatrième et plus jeune échantillon de cet ensemble (205046-1) était également regroupé avec des échantillons immergés, mais il avait une composition complètement différente. Même si cet échantillon contenait moins de restes en général, des quantités élevées de grains carbonisés et des densités globales plus faibles de plantes aquatiques et des zones humides [90], il doit également avoir été influencé par l'eau à un moment donné. À ce moment-là, plusieurs siècles après l'abandon de la ville, le chenal de navigation semble avoir été abandonné et la zone a été utilisée à d'autres fins (bien que l'on ne sache toujours pas à quelles autres fins; [55]). Ce changement est également bien reflété dans la composition des plantes aquatiques et des zones humides qui poussent à cet endroit. Il est possible que la quantité d'eau qui coule diminue vers cet échantillon le plus élevé par rapport au MAS, ce qui se traduit par un environnement plus marécageux qu'auparavant, bien que cela doive être testé dans d'autres échantillons.

Deux échantillons de la bordure du chenal de navigation de la zone 205 de l'année 2018 regroupés avec MAS non immergé. Ils se sont regroupés très étroitement même s'ils n'appartiennent pas à la même unité stratigraphique. L'échantillon de l'autre côté du chenal de navigation regroupé avec le MAS du rivage, indiquant que le point échantillonné de ce côté du rivage était plus proche de l'eau pendant le temps où il a été sédimenté.

En ce sens, il semble que chaque échantillon doive être examiné individuellement. Selon la position des échantillons, ils ont été plus ou moins influencés par l'eau du chenal de navigation pendant ou après leur formation. Les échantillons ont peut-être tendance à avoir un peu plus de caractéristiques vers les terres boisées riveraines plus tôt, tandis que le chenal de la zone 204 est progressivement obstrué à mesure que l'approvisionnement en eau douce diminue avec le temps, ce qui est corroboré par les découvertes géomorphologiques.

Comme davantage d'échantillons contenant des matériaux gorgés d'eau seront analysés à l'avenir, il sera possible de les intégrer directement dans cet ensemble de données et ainsi de définir plus en détail les conditions autour du canal de navigation. Dans le même temps, il sera possible de comparer différentes stratégies de tamisage utilisées pour le même échantillon afin d'éliminer les différences méthodologiques.

Il est également prévu d'examiner plus en détail les restes carbonisés de plantes aquatiques et des zones humides trouvés en association avec des cultures en utilisant la comparaison avec la MAS. Cela pourrait aider à définir les conditions de culture des plantes cultivées utilisées sur le site.

5. Conclusion

Dans des échantillons analogiques modernes de Camargue et de la région de Lattes, il a été possible de distinguer des échantillons de milieux d'eau saline et saumâtre d'échantillons de milieux d'eau douce (de grande rivière). Au sein de ces deux groupes, il était en outre possible de séparer les échantillons prélevés dans la zone sublittorale des échantillons prélevés dans l'eulittoral ou plus loin vers la rive. Échantillons du littoral regroupés entre ces deux catégories. S'il serait bénéfique d'élargir le pool d'échantillons analogiques modernes et d'examiner les questions méthodologiques plus en détail, ces résultats fournissent déjà une base solide pour améliorer l'interprétation des processus taphonomiques et de formation d'assemblages macrobotaniques dans des échantillons archéologiques de divers sites dans les lagunes littorales. et les zones côtières basées sur des données écologiques moins biaisées.

Dans des échantillons d'un canal de navigation de la ville portuaire gallo-romaine de *Lattara*, des différences à petite échelle dans l'espace et dans le temps ont pu être suivies en utilisant l'ensemble de données analogiques moderne. Les échantillons archéologiques testés du chenal de navigation actuellement excavé ont été sédimentés sous les niveaux d'eau changeants dans un environnement qui n'a pas été directement influencé par le Lez, mais qui aurait pu ressembler aux plus petits chenaux que l'on trouve aujourd'hui dans la zone du site. Ils se sont formés dans un environnement d'eau douce plutôt qu'un marais salé. Conformément aux résultats géomorphologiques, il a été démontré que le chenal de navigation s'est obstrué rapidement et a perdu son approvisionnement en eau douce sur une courte période (environ 100 ans).

Dans le futur, de nouveaux échantillons de ce site pourront être comparés à l'ensemble de données actuel afin de se faire une idée du type et du degré d'influence de l'eau et aussi de définir les caractéristiques paléoécologiques de l'environnement de *Lattara*.

Les échantillons de tout autre site archéologique côtier peuvent facilement être comparés à l'ensemble de données analogiques modernes publié avec cet article dans le but de comprendre les processus de formation des sites dans les zones côtières habitées dans le passé. En outre, l'ensemble de données pourrait être comparé à d'autres échantillons archéologiques ou naturels à travers le monde et pourrait également être intéressant pour les études et la préservation des habitats des zones humides.

Renseignements à l'appui

Tableau S1. Avec des densités de toute la plante reste dans les échantillons analogiques modernes.

Des informations sur les échantillons se trouvent dans la deuxième feuille.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234853.s001>

(XLSX)

Tableau S2. Avec des densités de plantes aquatiques et humides, il reste dans les échantillons archéologiques.

Des informations sur le traitement des échantillons se trouvent dans la deuxième feuille.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234853.s002>

(XLSX)

Remerciements

Nous remercions Hugo Fontes pour son aide sur le terrain et pour la collecte de matériel de référence et le Parc Naturel Régional de Camargue ainsi que la Réserve Naturelle Nationale de Camargue pour avoir permis le prélèvement d'échantillons sur leurs territoires, notamment Claire Tetrel, François Lescuyer et Anaïs Cheiron. Nous remercions également Émilie Delbois pour les identifications des échantillons de 2017 et Ferran Antolín ainsi que deux éditeurs et deux relecteurs anonymes pour leurs commentaires utiles sur le manuscrit.

Références

1. Menotti F, O'Sullivan A. Le manuel d'Oxford d'archéologie des zones humides. Oxford: Oxford University Press; 2013.
 2. Balbo AL, Martínez - Fernández J, Esteve - Selma MA. Zones humides méditerranéennes: archéologie, écologie et durabilité. *FILS Eau*. 2017; e1238: 1–16.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
 3. Edgeworth M. Fluid passés: archéologie de l'écoulement. Londres: Bristol Classical Press; 2011.
 4. Hodder I. Entangled: Une archéologie des relations entre les humains et les choses. Oxford: John Wiley & Sons; 2012.
 5. Walsh K. L'archéologie des paysages méditerranéens: l'interaction homme-environnement du néolithique à la période romaine. New York: Cambridge University Press; 2014.
 6. Wiemann P, Kühn M, Heitz-Weniger A, Stopp B, Jennings B, Rentzel P, et al. Zürich-Alpenquai: une approche multidisciplinaire du développement chronologique d'une colonie lacustre de l'âge du bronze tardif dans le nord de la région Circum-Alpine. *Journal d'archéologie des zones humides*. 2012; 12: 58–85.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
- sept.** Menotti F. La fin des habitations lacustres dans la région Circum-Alpine. Oxford: Oxbow Books; 2015.
8. Charles M, Hoppé C. Les effets de l'irrigation sur les flores adventices des cultures céréalières d'hiver dans le Wadi Ibn Hamad (sud de la Jordanie). *Levant*. 2003; 35 (1): 213-230.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
 9. Jones G, Charles M, Bogaard A, Hodgson J. Cultures et mauvaises herbes: le rôle de l'écologie fonctionnelle des mauvaises herbes dans l'identification des méthodes d'élevage. *J Archaeol Sci*. 2010; 37: 70–77.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
- dix.** Bogaard A, Hodgson J, Nitsch E, Jones G, Styring A, Diffey C, et al. Combiner l'écologie fonctionnelle des mauvaises herbes et les ratios d'isotopes stables des cultures pour identifier l'intensité de culture: une comparaison des régimes de production céréalière en Haute Provence, France et dans les Asturies, Espagne. *Veg Hist Archaeobot*. 2016; 25 (1): 57–73.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
11. Styring AK, Charles M, Fantone F, Hald MM, McMahon A, Meadow RH, et al. Les preuves isotopiques de l'extensification agricole révèlent comment les premières villes du monde étaient alimentées. *Plantes Nat*. 2017; 3 (6): 17076. pmid: 28581507
[Voir l'article](#) • [PubMed / NCB](#) • [Google Scholar](#)
 12. Hillman GC. Interprétation des vestiges de plantes archéologiques: application de modèles ethnographiques de Turquie. Dans: van Zeist WA, Casparie WA, rédacteurs. *Plantes et homme ancien*. Rotterdam: Balkema; 1984; 1–41.
 13. Jones G. L'application des études actuelles sur la transformation des céréales aux restes archéobotaniques carbonisés. *Circaea*. 1990; 6: 91–96.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
 14. Cappers RTJ. La reconstruction des pratiques agricoles dans l'Égypte ancienne: une approche ethnoarchéologique. *Palaeohistoria*. 2005/2006; 47/48: 429–446.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
 15. Akeret Ö. Analyse pflanzlicher Grossreste im Kot von jungsteinzeitlichen Rindern, Schafen und Ziegen. Ein Beitrag zur Erforschung vorgeschichtlicher Viehwirtschaftssysteme. Thèse de doctorat, Université de Bâle. 2000.
 16. Schepers M, Van Haaster H. Dung questions: Une étude expérimentale sur l'efficacité de l'utilisation de la bouse de bétail nourri au foin pour reconstruire la végétation locale. *Archéologie environnementale*. 2015; 20 (1): 66–81.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
 17. Vergès JM, Burguet-Coca A, Allué E, Expósito I, Guardiola M, Martín P, et al. Le programme expérimental du Mas del Pepet pour l'étude des pratiques d'élevage préhistoriques: données préliminaires sur le brûlage des excréments. *Quat Int*. 2016; 414: 304–315.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
 18. Carrión JS. Une étude taphonomique des assemblages de pollen modernes à partir de fumier et de sédiments de surface dans des environnements arides d'Espagne. *Rev Palaeobot Palynol*. 2002; 120: 217-232.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
 19. Court-Picon M, Buttler A, de Beaulieu JL. Relations pollen-végétation modernes dans la vallée du Champsaur (Alpes françaises) et leur potentiel dans l'interprétation des enregistrements de pollen fossile des paysages culturels passés. *Rev Palaeobot Palynol*. 2005; 135 (1–2): 13–39.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)

- Schepers M, Scheepens JF, Cappers RJ, Tongeren OR, Raemaekers DM, Bekker R. Une méthode objective basée sur des assemblages de macro-restes de plantes subfossiles pour reconstruire la végétation naturelle passée: une étude de cas à Swifterbant, Pays-Bas. *Veg Hist Archaeobot*. 2013; 22: 243–255.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
20. Schaal C, Bégeot C, Oudot-Canaff J, Cuenot Q, Valot B, Gauthier E, et al. Reconstruction de la végétation actuelle et passée d'un méandre du Doubs à l'aide de marqueurs carpologiques, palynologiques et génétiques. *Revue scientifique Bourgogne-Franche Comté Nature*. 2018; 16: 29-38.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
21. Kuneš P, Pelánková B, Chytrý M, Jankovská V, Pokorný P, Petr L. Interprétation de la dernière végétation glaciaire de l'Europe centrale orientale à l'aide d'analogues modernes du sud de la Sibérie. *J Biogeogr*. 2008; 35 (12): 2223-2236.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
22. Magyari EOK, Kuneš P, Jakab G, Sümegi P, Pelánková B, Schäbitz F, et al. Végétation du Pléniglaciaire tardif en Europe centrale et orientale: existe-t-il des analogues modernes en Sibérie? *Quat Sci Rev*. 2014; 95: 60–79.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
23. Friesem DE, Lavi N, Madella M, Ajithprasad P, Français C. Processus de formation du site et utilisation par les chasseurs-cueilleurs de l'espace dans un environnement tropical: une approche géo-ethno-archéologique du sud de l'Inde. *PLoS One*. 2016; 11 (10): e0164185. pmid: 27783683
[Voir l'article](#) • [PubMed / NCBI](#) • [Google Scholar](#)
24. Friesem DE, Lavi N, Madella M, Boaretto E, Ajithprasad P, French C. La formation de résidus de feu associés aux chasseurs-cueilleurs en milieu tropical humide: une perspective géo-ethnoarchéologique. *Quat Sci Rev*. 2017; 171: 85–99.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
25. Zanon M, Davis BAS, Marquer L, Brewer S, Kaplan JO. Couverture forestière européenne au cours des 12 000 dernières années: une reconstruction palynologique basée sur des analogues modernes et la télédétection. *Front Plant Sci*. 2018; 9: 25.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
26. Weisskopf A, Harvey E, Kingwell-Banham E, Kajale M, Mohanty R, Fuller DQ. Implications archéobotaniques des assemblages de phytolithes des systèmes rizicoles cultivés, des peuplements de riz sauvage et des modèles macro-régionaux. *J Archaeol Sci*. 2014; 51: 43-53.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
27. Weisskopf A. Aliments sauvages insaisissables dans la subsistance de l'Asie du Sud-Est: ethnographie moderne et phytolithes archéologiques. *Quat Int*. 2018; 489: 80–90.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
28. Holyoak DT. Taphonomie de macrofossiles végétaux potentiels dans un bassin versant du Spitzberg. *Nouveau Phytol*. 1984; 98: 405–423.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
29. Pałczyński A. Tentative de précision de la méthode paléophytosociologique dans les enquêtes sur les gisements de tourbe. *Acta Soc Bot Pol*. 1992; 61 (1): 115–123.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
30. Hannon GE, Gaillard MJ. L'enregistrement des plantes-macrofossiles des changements passés du niveau du lac. *J Paleolimnol*. 1997; 18: 15-28.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
31. Goman M. Analyse statistique des assemblages de semences modernes de la baie de San Francisco: applications pour la reconstruction de la paléo-salinité et des inondations paléo-marées. *J Paleolimnol*. 2001; 26: 393–409.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
32. Vassio E, Martinetto E. Biais dans la fréquence des fruits et des graines dans les sédiments fluviaux modernes du nord-ouest de l'Italie: la clé pour interpréter des assemblages fossiles analogues. *PALAIOS*. 2012; 27: 779-797.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
33. Knörzer KH. Pflanzentransport im Rhein zur Römerzeit, im Mittelalter und heute. *Decheniana*. 1996; 149: 81–123.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
34. Jacomet S. Botanische Makroreste aus den Sedimenten des neolithischen Siedlungsplatzes AKAD-Seehofstrasse am untersten Zürichsee. *Die Reste der Uferpflanzen und ihre Aussagemöglichkeiten zu Vegetationsgeschichte, Schichtenstehung und Seespiegelschwankungen*. Zurich: Juris; 1985.
35. Steiner BL, Akeret Ö, Antolín F, Brombacher C, Vandorpe P, Jacomet S. Couches riches en plantes aquatiques et des zones humides au sein de stratigraphies anthropiques complexes et leur contribution au démêlage des processus taphonomiques. *Veg Hist Archaeobot*. 2018; 27: 45–64.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
36. Bollinger T. Samenkundliche Untersuchung von Rezent-Sedimenten aus Verhandlungsserien am Ufer des Greifen- und Zürichsees. M.Sc. Thèse, Université de Bâle. 1981.
37. Cappers RTJ. Un modèle paléoécologique pour l'interprétation des espèces de plantes sauvages. *Veg Hist Archaeobot*. 1995; 4 (4): 249–257.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)

39. Kautsky L. Banques de semences et de tubercules de macrophytes aquatiques dans la région d'Askö, nord de la Baltique proprement dite. *Écologie holarctique*. 1990; 13: 143-148.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
40. Cappers RTJ. Dispersion des graines par l'eau: une contribution à l'interprétation des assemblages de graines. *Veg Hist Archaeobot*. 1993; 2: 173-86.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
41. Grillas P, Garciamurillo P, Geertzhansen O, Marbá N, Montes C, Duarte CM, et al. Banque de graines de macrophytes submergée dans un marais temporaire méditerranéen - abondance et relation avec la végétation établie. *Oecologia*. 1993; 94: 1-6. pmid: 28313850
[Voir l'article](#) • [PubMed / NCBI](#) • [Google Scholar](#)
42. Dieffenbacher-Krall AC, Halteman WA. La relation entre les plantes modernes et la profondeur de l'eau dans les lacs alcalins de la Nouvelle-Angleterre, aux États-Unis. *J Paleolimnol*. 2000; 24: 213-229.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
43. Jutila HM. Banques de semences des prairies du delta du fleuve sur la côte ouest de la Finlande. *Ann Bot Fenn*. 2002; 39: 49-61.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
44. Nilsson C, Andersson E, Merritt DM, Johansson ME. Les différences de flore riveraine entre les berges et les berges des lacs s'expliquent par des traits de dispersion. *Écologie*. 2002; 83 (10): 2878-2887.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
45. Liu GH, Li W, Li EH, Yuan LY, Davy AJ. Variation à l'échelle du paysage dans les banques de semences des zones humides des plaines inondables avec une hydrologie contrastée en Chine. *Freshw Biol*. 2006; 51: 1862-1878.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
46. Steinhardt T, Selig U. Schémas de distribution spatiale et relation entre la végétation récente et la rive diaspore d'une lagune côtière saumâtre du sud de la mer Baltique, *Estuarine Coastal and Shelf Science* 2007; 74: 205-214.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
47. Yuan LY, Liu GH, Li W, Li EH. Variation de la banque de graines le long d'un gradient de profondeur de l'eau dans un marais subtropical au bord du lac, Longgan Lake, Chine. *Plant Ecol*. 2007; 189 (1): 127-137.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
48. Koff T, Vandell E. Distribution spatiale des assemblages de macrofossiles dans les sédiments de surface de deux petits lacs en Estonie. *Journal estonien d'écologie*. 2008; 57 (1): 5-20.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
49. Cui LJ, Li W, Zhao XS, Zhang MY, Lei YR, Zhang Y et al. La relation entre la végétation sur pied et la banque de graines du sol le long des rives du lac Taihu, Chine. *Ecol Eng*. 2016; 96: 45-54.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
50. Küster H. Phytosociologie et archéobotanique. Dans: Harris DR, Thomas KD, éditeurs. *Modélisation du changement écologique*. Londres: Institut d'archéologie, University College; 1991. pp. 17-26.
51. Hopfensperger KN. Un examen de la similitude entre la banque de graines et la végétation sur pied dans les écosystèmes. *Oikos*. 2007; 116 (9): 1438-1448.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
52. Jorda C, Chabal L, Blanchemanche P. *Lattara* entre terres et eaux: Paléogéographie et paléoboisements autour du port protohistorique. *Gallia*. 2008; 65: 11-21.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
53. Py M. *Lattara* (Lattes, Hérault). Comptoir gaulois méditerranéen entre Etrusques, Grecs et Romains. Paris: Éditions Errance; 2009.
54. Piquès G, éditeur. *Lattara* (Lattes, Hérault) Prospections géophysiques et sondages géoarchéologiques dans la zone portuaire. Rapport intermédiaire de fouille programmée. Lattes: SRA Région Occitanie, Pyrénées Méditerranée; 2016.
55. Piquès G, éditeur. La zone portuaire de *Lattara* (Lattes, Hérault). Rapport intermédiaire de fouille programmée. Lattes: SRA Région Occitanie, Pyrénées Méditerranée; 2017.
56. Piquès G, éditeur. La zone portuaire de *Lattara* (Lattes, Hérault). Rapport intermédiaire de fouille programmée. Lattes: SRA Région Occitanie, Pyrénées Méditerranée; 2018.
57. Piquès G, éditeur. La zone portuaire de *Lattara* (Lattes, Hérault). Rapport final de fouille programmée. Lattes: SRA Région Occitanie, Pyrénées Méditerranée; 2019.
58. Vaquer A, Heurteaux P, éditeurs. Modifications récentes de la végétation aquatique de l'étang du Vaccarès (Camargue, France) liées aux perturbations anthropiques. *Ann Limnol*. 1989; 25 (1): 25-38.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
59. Banas D, Grillas P, Aubry I, Lescuyer F, Coulet E, Moreteau JC, et al. Changements à courte échelle de l'irradiance sous-marine dans une lagune exposée au vent (lagune de Vaccarès, France): efficacité des mesures de terrain peu fréquentes de la turbidité de l'eau ou des données météorologiques pour

prédire l'irradiance dans la colonne d'eau. *Hydrobiologia*. 2005; 551: 3–16.

[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)

60. Grillas P, Charpentier A, Auby I, Lescuyer F, Coulet E. Dynamique spatiale de *Zostera noltii* sur une période de 5 ans de salinité fluctuante dans la lagune de Vaccarès, France. Réunion des sciences aquatiques de l'American Society of Limnology and Oceanography, Copenhague, Danemark; 2000.
61. Cheiron A, éditeur. 2019. Rapport d'activité 2018 de la Réserve naturelle nationale de Camargue. Société nationale de protection de la nature – Réserve naturelle nationale de Camargue; 2018. 216 p.
62. Sabatier F, Suanez S. Evolution de la côte du delta du Rhône depuis la fin du 19^{ème} siècle. *Géomorphologie: relief, processus, environnement*. Groupe français de géomorphologie (GFG). 2003; 9 (4): 283–300.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
63. Vella C, Fleury TJ, Raccasi G, Provansal M, Sabatier F, Bourcier M. Evolution de la plaine du delta du Rhône dans l'Holocène. *Mar Geol*. 2005; 222: 235–65.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
64. Picon B. Aperçu de l'histoire socio-économique de la Camargue. *La Terre et la vie*. Rev Ecol. 1979: 31–48.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
65. Picon B, Allard P. Gestion du risque d'inondation et changement social dans le delta du Rhône: Les "catastrophes" de 1856 et 1993–1994. Arles: Editions Quae; 2006.
66. Grillas P, David T. Etude pilote pour une évaluation de l'état des macrophytes des lagunes méditerranéennes oligo et méso-halines. Onema, Agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse, Ifremer et Tour du Valat. 2010.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
67. Grillas P, Derolez V, Bec B, Ximénès MC, Giraud A. Adaptation des grilles DCE de qualité nutriments et phytoplancton (abondance et biomasse) pour les lagunes oligo et mésohalines Onema, Agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse, Ifremer et Tour du Valat. 2016.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
68. Schnitzler-Lenoble A, Carbiener R. Forêts alluviales d'Europe: écologie, biogéographie, valeur intrinsèque. Paris: Lavoisier; 2007.
69. Schnitzler A, Carbiener R. Biodiversité comparée des ripisylves du Rhône et de ses affluents (Cèze, Ouvèze, Durance) dans la région méditerranéenne. *Forêt méditerranéenne*. 2006; 27 (1): 43–58.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
70. Lorber D, Vallauri D. Contribution à l'analyse des forêts anciennes de Méditerranée. 1. Critères et indicateurs du gradient de naturalité. Marseille: Rapport WWF; 2007.
71. Willm L, Grillas P, Germain C. Ripisylve de Tourtoulon. Suivi des milieux naturels. Rapport Tour du Valat. 2018.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
72. Willm et coll. 2003 Willm L, Grillas P, Dorgère A. Ripisylve de Tourtoulon. Suivi des milieux naturels. Rapport interne Conservatoire du Littoral et Station Biologique de la Tour du Valat; 2003.
73. Persat H, Beaudou D, Freyhof J. Le chabot de la source du Lez (sud de la France), *Cottus petiti* (Bacescu et Bacescu-Mester, 1964), l'une des espèces de poissons les plus menacées d'Europe. Dans: Kirchhofer A, Hefli D, éditeurs. Conservation des poissons d'eau douce menacés en Europe. Bâle: Birkhäuser Verlag; 1996. pp. 321–328.
74. Py M. *Lattara* : Introduction à l'étude de l'environnement de Lattes antique. Lattes: Association pour la recherche archéologique en Languedoc oriental. *Lattara* . 1989; 2.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
75. Py M, Garcia D. Bilan des recherches archéologiques sur la ville portuaire de *Lattara* (Lattes, Hérault). *Gallia*. 1993: 1–93.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
76. Bagan G, Gailledrat E, Jorda C. Approche historique de la géographie des comptoirs littoraux à l'Âge du Fer en Méditerranée occidentale à travers l'exemple du port de *Lattara* (Lattes, Hérault). *Quaternaire*. 2010; 21 (1): 85-100.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
77. Puertas O. Palynologie dans le delta du Lez: contribution à l'histoire du paysage de Lattes. Lattes: Editions de l'Association pour la recherche archéologique en Languedoc oriental. *Lattara* . 1998; 11.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
78. Alonso N, Buxó R, Rovira N. Archéobotanique des semences et des fruits de *Lattara* : bilan des recherches. *Gallia*. 2008; 65: 193–200.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
79. Rovira N, Alonso N. Thanatocoenoses de graines et fruits de la zone 1 à *Lattara* (Lattes, France) aux Ve-IV^{ème} siècles avant JC: les résultats préliminaires. Dans: Bakels C, Fennema K, Out WA, Vermeeren C, éditeurs. De plantes et d'escargots. Leiden: Sidestone Press; 2010.
80. Rovira N, Alonso N. Culture et consommation végétale dans le Languedoc côtier (France) au deuxième âge du fer: nouvelles données de Pech Maho (Aude), *Lattara* (Hérault) et Le Cailar (Gard). *Veg Hist Archaeobot*. 2018; 27: 85–97.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)

81. Alonso N, Rovira N. Usages et stockage de l'usine au 5ème siècle avant JC Quartier étrusque de la ville de *Lattara*, France. *Veg Hist Archaeobot*. 2016; 25: 323–37.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
82. Gardeisen A. Terrestres ou volants: les animaux dans la ville antique de Lattes. *Gallia*. 2008; 65: 185–192.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
83. Piquès G. Consommation et modes d'approvisionnement du poisson à *Lattara* au Ve s. n. v. n. è. Dans: Janin T, éditeur. *Lattara 21: Premières données sur le cinquième siècle avant notre ère dans la ville de Lattara*. Lattes: Édition de l'Association pour le Développement de l'Archéologie en Languedoc-Roussillon. *Lattara*. 2010; 21: 387–417.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
84. Garcia L. Les oiseaux de Lattes et leur exploitation pendant l'Antiquité. *Lattara*. 1999; 12: 609–634.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
85. Ambert M, Chabal L. L'environnement de *Lattara* (Hérault): potentialités et contraintes. *Lattara*. 1992; 5: 9–26.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
86. Chabal L. Charbons de bois et bois gorgé d'eau des puits antiques: des jardins de Lattara aux forêts du delta du Lez. *Lattara*. 2005; 18: 221-234.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
87. Alagich R, Gardeisen A, Alonso N, Rovira N, Bogaard A. Utilisation des isotopes stables et de l'écologie fonctionnelle des mauvaises herbes pour explorer les différences sociales dans les premiers contextes urbains: le cas de *Lattara* en France méditerranéenne. *J Archaeol Sci*. 2018; 93: 135–49.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
88. Rovira N, Tillier M, Perrone AM. L'échantillonnage des sondages de la zone 204 de *Lattara*. Campagne 2016. Dans: Piquès G, éditeur. *Lattara* (Lattes, Hérault) Prospections géophysiques et sondages géoarchéologiques dans la zone portuaire. Rapport intermédiaire de fouille programmée. Lattes: SRA Région Occitanie, Pyrénées Méditerranée; 2016.
89. Tillier M. Économie végétale et échanges en Méditerranée romaine (1er s. Av. N.è. - 5ème s. De n.è.). Étude carpologique de contextes portuaires. Thèse de doctorat, Université Paul Valéry Montpellier III. 2019.
90. Rovira N, Delbois É. Environnement et consommation végétale à *Lattara* du I^{er} s. n. v. n. è. au II^e s. de n. è. Premiers résultats carpologiques de la zone portuaire 205. Dans: Piquès G, éditeur. *La zone portuaire de Lattara* (Lattes, Hérault). Rapport intermédiaire de fouille programmée. Lattes: SRA Région Occitanie, Pyrénées Méditerranée; 2017.
91. Rovira N, Steiner B. Analyse carpologique de la zone 205 (Ile s. Av.-Ile s. De n. È): nouvelles données sur la végétation et les activités anthropiques autour du chenal portuaire. Dans: Piquès G, éditeur. *La zone portuaire de Lattara* (Lattes, Hérault). Rapport intermédiaire de fouille programmée. Lattes: SRA Région Occitanie, Pyrénées Méditerranée; 2018.
92. Zibulski P. Botanik. Dans: Eberli U, éditeur. *Die horgenzeitliche Siedlung Pfäffikon-Burg*. Zürich und Elgg: Baudirektion des Kantons Zürich; 2010. pp. 236–55.
93. Jacomet S. Archaeobotany: Analyses de restes de plantes provenant de sites archéologiques gorgés d'eau. Dans: Menotti F, O'Sullivan A, éditeurs. *Le manuel d'Oxford d'archéologie des zones humides*. Oxford: Oxford University Press; 2013. pp. 497-514.
94. Steiner BL, Antolín F, Jacomet S. Test de la cohérence du processus de tamisage (lavage) des sédiments gorgés d'eau par plusieurs opérateurs. *J Archaeol Sci Rep*. 2015; 2: 310–320.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
95. Vadorpe P, Jacomet S. Comparaison de différentes méthodes de prétraitement pour les sédiments organiques fortement compactés avant le tamisage humide: une étude de cas sur les dépôts gorgés d'eau romains. *Archéologie environnementale*. 2007; 12 (2): 207-214.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
96. Antolín F, Steiner BL, Vach W, Jacomet S. Qu'est-ce qu'un litre de sédiment? Test des techniques de mesure du volume des sédiments humides et de leurs implications dans les analyses archéobotaniques sur le site lacustre du Néolithique tardif du Parkhaus Opéra (Zürich, Suisse). *J Archaeol Sci*. 2015; 61: 36–44.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
97. Antolín F, Steiner BL, Jacomet S. Plus c'est gros, mieux c'est? Sur le volume de l'échantillon et la représentativité des données archéobotaniques dans les gisements saturés d'eau. *J Archaeol Sci Rep*. 2017; 12: 323–333.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
98. Bullock P, Fedoroff N, Jongerius A, Stoops G, Tursina T. *Handbook for Soil Thin Section Description*. Wolverhampton: Waine Research Publications; 1990.
99. Cappers R, Bekker RM, Jans JEA. *Digitale Zadenatlas van Nederland* (Atlas numérique des semences des Pays-Bas). Groningen: Barkhuis Publishing & Bibliothèque universitaire de Groningen; 2006.
100. Mouronval JB, Baudouin S. *Plantes aquatiques de Camargue et de Crau*. Villeneuve-Loubet: Office national de la chasse et de la faune sauvage; 2010.
101. Kreuz A, Schäfer E. Un nouveau programme de base de données archéobotanique. *Veg Hist Archaeobot*. 2002; 11: 177-179.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)

102. Buxó R. Échantillonnage et enregistrement des prélèvements. *Lattara* . 1991; 4: 101-114.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
103. Py M, Adroher A, Barberan S, Buxó R, Conche F, Feugère M, et al. SYSLAT 3.1, système d'information archéologique, manuel de référence. Lattes: Editions de l'Association pour la recherche archéologique en Languedoc oriental. *Lattara* . 1997; 10.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
104. Molinier R, Tallon G. Prodrôme des unités phytosociologiques observées en Camargue. Marseille: Bulletin du Muséum d'histoire naturelle de Marseille; 1970.
105. Julve P. Baseflor. Index botanique, écologique et chorologique de la flore de France. 1998. [Version 2018]. Disponible sur <http://perso.wanadoo.fr/philippe.julve/catminat.htm> .
106. Oberdorfer E. Pflanzensoziologische Exkursionsflora für Deutschland und angrenzende Gebiete. 8. Auflage. Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag; 2001.
107. Tison JM, Jauzein P, Michaud H, Michaud H. Flore de la France méditerranéenne continentale. Turriers: publications Naturalia; 2014.
108. Tison JM, de Foucault B. Flora gallica: flore de France. Mèze: Biotope; 2014.
109. Leuschner C, Ellenberg H. Écologie des forêts d'Europe centrale. Écologie de la végétation de l'Europe centrale (Vol. 1). Cham: Springer; 2017.
110. Mesléard F, Perennou C. Végétation aquatique émergente. Écologie et gestion. Série MedWet: «Conservation des zones humides méditerranéennes» Nr. 6. Arles: Tour du Valat; 1996.
111. Auderset Joye D, Schwarzer A (2012) Rote Liste Armeleuchteralgen. Gefährdete Arten der Schweiz, Stand 2010. Berne: Bundesamt für Umwelt, Berne et Laboratoire d'écologie et de biologie aquatique (LEBA), Université de Genève; 2012.
112. Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD. PASSÉ: progiciel de statistiques paléontologiques pour l'éducation et l'analyse des données. *Palaeontol Electron*. 2001; 4 (1): 9.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
113. Odum WE. Écologie comparative des marais salés et d'eau douce à marée. *Annu Rev Ecol Syst*. 1988; 19: 147-176.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
114. Salel T, Bruneton H, Lefèvre D. Ostracodes et variabilité environnementale dans les lagunes et les deltas le long de la côte nord-ouest de la Méditerranée (Golfe du Lion, France et delta de l'Èbre, Espagne). *Rev Micropaleontol*. 2016; 59 (4): 425-444.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
115. Keddy P, Reznicek A. Dynamique de la végétation des Grands Lacs: le rôle des fluctuations des niveaux d'eau et des graines enfouies. *J Great Lakes Res*. 1986; 12: 25-36.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
116. Seabloom EW, van der Valk AG, Moloney KA. Le rôle de la profondeur de l'eau et de la température du sol dans la détermination de la composition initiale des cénoclines des terres humides des Prairies. *Plant Ecol*. 1998; 138: 203-216.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
117. Hosch S, Zibulski P. L'influence des procédures de tamisage humide incohérentes sur la concentration de macrorobin dans les sédiments gorgés d'eau. *J Archaeol Sci*. 2003; 30: 849-857.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
118. Tolar T, Jacomet S, Velušček A, Čufar K. Techniques de récupération des sédiments archéologiques gorgés d'eau: comparaison des différentes méthodes de traitement d'échantillons provenant des établissements néolithiques au bord du lac. *Veg Hist Archaeobot*. 2010; 19: 53-67.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
119. Tillier M. Carpologie en contexte portuaire romain: Economie végétale et environnement des sites de Caska (Ile de Pag, Croatie), du Castélou (Narbonne) et d'Arles-Rhône 3. M.Sc. Thèse, Université Paul Valéry Montpellier III. 2013.
120. Azuara J, Combourieu-Nebout N, Lebreton V, Mazier F, Muller SD, Dezileau L. Modifications de la végétation de l'Holocène tardif en relation avec les fluctuations climatiques et l'activité humaine en Languedoc (sud de la France). *Clim Past*. 2015; 11: 1769-1784.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
121. Chabal L. Etude anthracologique de la place 123 (*Lattara* , IVe s. Av. N. È.): Approche spatiale et diachronique. *Lattara* . 2003; 16: 219-240.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)