

Étude de l'histoire complexe d'un fossé - Une étude multidisciplinaire du remplissage de fossé donne un aperçu de l'organisation spatiale au sein de l'oppidum de Bibracte (Bourgogne, France)

Petra Goláňová, Mária Hajnalová, Lenka Lisá, Peter Milo, Libor Petr, Markéta Fránková, Jan Kysela, Patrik G. Flammer, Romana Kočárová, Peter Barta

Publié: 20 avril 2020 • <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231790>

Abstrait

Des espaces apparemment vides dans divers contextes archéologiques ont laissé de nombreuses questions sans réponse. Cet article se concentre sur l'aspect, l'entretien et la fonction possible d'une grande zone vide située sur le plateau sommital de l'oppidum Bibracte de l'âge du fer en France. Recherche multidisciplinaire du remplissage du fossé qui délimitait cette zone au 1^{er} siècle avant JC a fourni des preuves sur la fonction principale et les processus de formation de la structure elle-même, et pour la reconstruction de l'apparence, de l'entretien et de la fonction de la zone qu'elle englobait. Les résultats nous permettent de mieux comprendre une variété de sujets, notamment le rôle des arbres, les mesures d'hygiène et les stratégies de gestion des déchets dans ce centre urbanisé perché. Cet article démontre que les analyses multi-proxy fournissent un aperçu détaillé de la fonction des caractéristiques archéologiques dans un contexte environnemental local et du potentiel de telles approches en archéologie.

Citation: Goláňová P, Hajnalová M, Lisá L, Milo P, Petr L, Fránková M, et al. (2020) Enquête sur l'histoire complexe d'un fossé - Une étude multidisciplinaire du remplissage de fossé donne un aperçu de l'organisation spatiale au sein de l'oppidum de Bibracte (Bourgogne, France). PLoS ONE 15 (4): e0231790. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231790>

Editeur: Peter F. Biehl, University at Buffalo - The State University of New York, ÉTATS-UNIS

Reçu: 17 décembre 2019; **Accepté:** 31 mars 2020; **Publié:** 20 avril 2020

Copyright: © 2020 Goláňová 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 étude a été soutenue par le projet GA19-02606S (Oppidum en tant que paysage urbain: approche multidisciplinaire de l'étude de l'organisation spatiale "intra muros"), financé par The Czech Science Foundation (GA ČR). 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.

introduction

Nous présentons une approche multidisciplinaire pour étudier un fossé qui traverse un espace ouvert au sein de l'oppidum de Bibracte, un important site fortifié de la fin de l'âge du fer en France.

Les fouilles archéologiques d'oppida - les centres urbanisés fortifiés s'étendant de la fin de l'âge du fer au début de la transition romaine - se concentrent presque exclusivement sur les zones bâties à l'origine. Les projets qui étudient l'ensemble de la zone fermée comme un espace urbain, et donc aussi le rôle et la fonction des zones apparemment «vides», sont rares (cf. par exemple, Manching [1]; cf. un résumé dans [2]). L'utilisation intensive de la géophysique sur ces sites au cours de la dernière décennie a considérablement élargi les connaissances acquises grâce aux fouilles [3 - 7]. Les structures éventuelles détectées lors de ces enquêtes n'ont été que rarement vérifiées par des fouilles archéologiques ultérieures, et aucune attention particulière n'a été portée aux zones où aucune trace de bâtiments n'a été trouvée [5 , 8].

Les «espaces vides» dans les centres urbains ne sont délibérément pas construits et sont maintenus comme tels pendant une période prolongée. Les zones relativement petites, qui sont entourées de bâtiments et sont parfois pavées, sont généralement identifiées comme des espaces publics («carrés») destinés au rassemblement ou à l'interaction, par exemple à Manching [9 , 10] et Corent [11 , 12]. Moins claire est la fonction de vastes zones au sein de l'oppida avec presque aucune trace d'activités humaines. Plusieurs fonctions possibles ont été suggérées pour leur rôle, telles que l'utilisation comme champs, pâturages, espace pour des événements sociaux (rassemblements, marchés), refuge ou terrain de recharge pour le développement urbain [2 , 13 - 15]. À certains oppida, des outils agricoles dispersés ont été récupérés principalement lors d'enquêtes au détecteur de métaux, parallèlement à une faible densité d'artefacts retravaillés / érodés attribués aux déchets ménagers trouvés dans les horizons du sol supérieur pendant les fouilles. Ces preuves suggèrent que ces grands «espaces vides / ouverts» étaient utilisés comme pâturages ou terres arables [7 , 15 , 16]. De plus, l'intégration de la production agricole à l'intérieur des remparts de l'oppida est considérée comme l'une des caractéristiques clés de l'urbanisme à faible densité [17]. Dans le cas de Manching, un oppidum de plaine (terminologie de V. Salač [18]), le rempart englobait toute la zone d'un ancien village ouvert, y compris les champs et les pâturages. Cette interprétation est confortée par les nombreuses graines de mauvaises herbes cultivables récupérées dans les canaux de drainage délimitant les champs. Les restes végétaux des zones bâties différaient considérablement, consistant principalement en cultures stockées et moulues [19]. Cependant, des preuves concluantes de l'utilisation agricole des espaces

vides manquent à ce jour pour les oppida des collines. Cette étude présente une approche multidisciplinaire pour l'examen d'un si grand espace vide en étudiant le remplissage de la ou des structures englouties associées - en l'occurrence le fossé de délimitation.

Les fossés des sites fortifiés de la fin de l'âge du fer, comme les collines et les oppida, faisaient généralement partie de structures de fortification complexes. Généralement situées à l'extérieur des remparts, ces structures avaient principalement pour fonction stratégique d'améliorer les défenses. Cependant, des structures similaires sont parfois également présentes *intra muros*, délimitant ou séparant des espaces avec des fonctions spéciales (ex: Villeneuve-Saint-Germain, Titelberg). Alors que la plupart des études se concentrent sur la zone qu'elles délimitent et se concentrent sur l'établissement de la chronologie des remblais de fossés en fonction des artefacts, les sédiments de fossés eux-mêmes sont souvent négligés en tant que source précieuse d'informations sur l'espace environnant et les processus de formation [13]. Les rares analyses scientifiques disponibles sont principalement basées sur des macro-restes végétaux et du pollen, et dans certains cas également sur des os d'animaux [19 , 20].

Le fossé étudié à Bibracte renfermait un espace apparemment vide, dont la maintenance ou la fonction n'a jamais été étudiée par des méthodes appropriées. Lors de l'excavation du fossé de Bibracte, nous avons appliqué différentes méthodes pour obtenir des informations complexes parallèlement aux analyses relativement courantes d'archéobotanique, d'anthracologie et de palynologie. Outre les observations macroscopiques, des méthodes telles que la description microstratigraphique [21 - 23], la géochimie [24 , 25] et les proxies, y compris les diatomées [26 , 27] et la parasitologie [28] apportent des informations précieuses. La datation au radiocarbone a également fourni des preuves utiles, malgré la période relativement courte pendant laquelle le fossé a été comblé. Aucune étude précédente n'a combiné autant de techniques analytiques différentes sur une structure dans un oppidum de l'âge du fer.

L'oppidum de Bibracte, situé sur le Mont Beuvray à 821 m d'altitude (près d'Autun, Bourgogne, France), est un site bien connu qui a été décrit dans les guerres gauloises de César comme la capitale de la tribu celtique des Aedui. Il fait l'objet d'intenses recherches archéologiques depuis le 19^e siècle, bien que les fouilles aient été interrompues en 1914. En 1984, les fouilles ont repris et se sont poursuivies depuis [29 , 30]. Ce centre commercial, culturel et politique était, selon la description de César [31], «de loin le plus grand et le mieux pourvu des villes Aeduan». Elle a été fondée à la fin du 2^{ème} siècle avant JC. Des levés géophysiques approfondis ont grandement contribué à notre compréhension de la structure et de l'urbanisme à Bibracte [30]. Les changements documentés dans l'architecture et la culture matérielle reflètent les changements politiques et culturels qui ont eu lieu au cours de sa brève existence. Bibracte atteint son apogée dans la seconde moitié du 1^{er} siècle avant JC, peu de temps avant son abandon rapide au profit d'une nouvelle ville, Augustodunum (Autun). Au Moyen Âge, les activités de peuplement sur le Mont Beuvray se limitaient au monastère franciscain érigé au 14^{ème} siècle après JC et à la zone du plateau sommital de La Chaume dans la zone sacrée / religieuse près d'une chapelle Saint-Martin construite dans la région d'un fanum du 1^{er} - 3rd siècle après JC. Des foires annuelles ont eu lieu sur le plateau sommital au moins depuis la période médiévale [32 , 33].

L'oppidum était initialement entouré d'un long rempart (7 km) qui fut bientôt abandonné au profit d'un plus court (5,2 km). La fortification plus courte mais plus solide, avec des hauteurs de rempart préservées jusqu'à 4 mètres, contraste avec les systèmes d'enceintes découverts *intra muros*. L'utilisation stratégique de ces structures internes est débattue [34]. Les terrassements intérieurs, encore visibles aux sommets de La Terrasse et du Porrey (Fig 1), ont été complétés par un fossé profond et plusieurs fossés peu profonds [35 , 36]. Sur le plateau de La Chaume, qui relie les deux sommets et offre la meilleure vue sur le paysage environnant, le fossé (lié à la fortification de La Terrasse) a été découvert sur la base de levés géophysiques, qui ont été suivis en 2017-2018 par des fouilles ciblées de le remplissage du fossé. Les fouilles précédentes sur le plateau sommital de La Chaume n'ont révélé aucune structure archéologique liée ou contemporaine à la phase d'occupation de l'oppidum.



Fig 1. Carte topographique de Bibracte oppidum / Mont Beuvray.

Détails du secteur de La Terrasse-Le Porrey avec les emplacements des zones arpentées et excavées.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231790.g001>

L'objectif initial de notre projet était de vérifier l'interprétation géophysique du fossé et de déterminer la date de construction. Cependant, la présence de dépôts gorgés d'eau dans la partie inférieure du remblai de fossé a soulevé un certain nombre de nouvelles questions. Ces gisements saturés d'eau ont été interprétés comme une source probable de données paléocologiques scellées in situ, et ainsi, différents assemblages d'échantillons ont été immédiatement collectés pour répondre aux questions de

recherche sur l'environnement historique. Ces questions visaient avant tout à une meilleure compréhension des processus de formation de remblai du fossé et à une reconstitution de l'environnement local sur le plateau sommital lors de l'utilisation du fossé et peu après. Les objectifs visés étaient les suivants: 1. déterminer la présence / absence d'eau dans le fossé pendant sa fonction et, s'il y en a, préciser sa qualité; 2. effectuer une datation chronologique absolue (AMS) des couches de remplissage; 3. reconstruire le couvert végétal; 4. déterminer l'utilisation possible des terres dans la zone environnante (par exemple, forêt / forêt / prairie / terre arable) et le degré d'impact humain et / ou animal; 5. reconstruire les processus de remblayage des fossés; 6. identifier le caractère et l'utilisation de la zone peu après la fin des processus de remplissage des fossés. Cette approche innovante impliquant une variété de méthodes pour étudier le contenu d'un fossé ou d'autres éléments engloutis pourrait être utilisée comme cadre pour des recherches ultérieures et met en évidence la valeur des approches de recherche multidisciplinaires en archéologie. forêt / forêt / prairie / terre arable) et le degré d'impact humain et / ou animal; 5. reconstruire les processus de remblayage des fossés; 6. identifier le caractère et l'utilisation de la zone peu après la fin des processus de remplissage des fossés. Cette approche innovante impliquant une variété de méthodes pour étudier le contenu d'un fossé ou d'autres éléments engloutis pourrait être utilisée comme cadre pour des recherches ultérieures et met en évidence la valeur des approches de recherche multidisciplinaires en archéologie. forêt / forêt / prairie / terre arable) et le degré d'impact humain et / ou animal; 5. reconstruire les processus de remblayage des fossés; 6. identifier le caractère et l'utilisation de la zone peu après la fin des processus de remplissage des fossés. Cette approche innovante impliquant une variété de méthodes pour étudier le contenu d'un fossé ou d'autres éléments engloutis pourrait être utilisée comme cadre pour des recherches ultérieures et met en évidence la valeur des approches de recherche multidisciplinaires en archéologie.

Méthodes

Levé géophysique

Le but de l'étude géophysique à Bibracte était la localisation et l'identification de toutes les structures archéologiques potentielles. La découverte du fossé remonte à 2012, lorsque le levé du secteur de La Chaume a débuté. Des levés de magnétométrie et de géoradar ont été appliqués dans cette étude.

Le magnétomètre Fluxgate Ferex (Förster) a été utilisé pour la recherche magnétique. L'instrument est conçu comme un gradiomètre, comporte quatre sondes et est capable d'enregistrer les valeurs d'intensité du champ magnétique avec une précision de 0,1 nT / m. Les mesures ont été effectuées dans un réseau de polygones interconnectés de 30 × 30 m. La densité des points mesurés était de 0,25 x 0,5 m. Les logiciels Foerster Datalog et Magdatashift ont été utilisés pour le traitement des données. Le magnétochrome résultant a été créé dans le logiciel Surfer (Golden Software Inc.). RAMAC X3M (Geoscience Malá) avec des antennes blindées de fréquences de 250 MHz et 500 MHz a été utilisé pour le levé géoradar. La mesure a été effectuée le long du même réseau que la magnétométrie. La densité des points mesurés était de 0,1 x 0,5 m. Les mesures ont été enregistrées dans des radarogrammes sous forme de tranches de temps verticales et horizontales. Le logiciel RAMAC Ground Vision a été utilisé pour le traitement des données. La représentation spatiale des zones étudiées a été traitée à l'aide des logiciels Easy 3D et Archeo Fusion.

Archéologie

Une tranchée de 6 × 10 m a été ouverte pour étudier les résultats du levé géophysique ([figure 2](#)). L'excavation a été systématiquement documentée avec la station totale et la photogrammétrie. Toutes les découvertes de métal ont été localisées avec précision. La matrice de Harris a été appliquée, montrant les liens entre les contextes individuels. Seul le gazon en herbe a été enlevé à l'aide d'une excavatrice mécanique et une excavation à ciel ouvert a été effectuée pour les niveaux supérieurs. Une fois les limites du fossé détectées à une profondeur de 65 cm, l'excavation s'est poursuivie dans la moitié des dépôts de tranchée en suivant les couches stratigraphiques ([Fig.3](#)). La seconde moitié du remblai de fossé a été excavée en 2018 en appliquant une approche plus détaillée ([Fig.4](#)). Les dépôts dans le fossé ont été excavés en couches de 10 cm dans une grille de 50 × 50 cm, en respectant leur relation avec les unités stratigraphiques réelles. Le volume de ces unités analytiques a été mesuré (en litres de sol), et le volume et le poids (en kilogrammes) des pierres ont été évalués dans sept de ces carrés en utilisant un tamisage à sec (maille 5 mm) ([tableau S1](#)). Les tailles de pierre ont été classées en quatre classes ([tableau 1](#)). Les caractéristiques de la poterie et des amphores ont été enregistrées dans les mêmes unités analytiques. Un total de 3918 tessons de poterie et d'amphores (poids total de 64093,3 g) a été mesuré pour la longueur, la largeur et l'épaisseur maximales (en mm) et le poids (en g) ([tableau S2](#)). Parmi ceux-ci, 2 871 ont été classés en fonction du degré d'usure (bord vif, bord légèrement arrondi, tesson très usé). La fragmentation des amphores a été évaluée sur la base de la longueur maximale des tessons et divisée en quatre classes de taille en raison des qualités relativement uniformes de la production d'amphores ([tableau 1](#)).

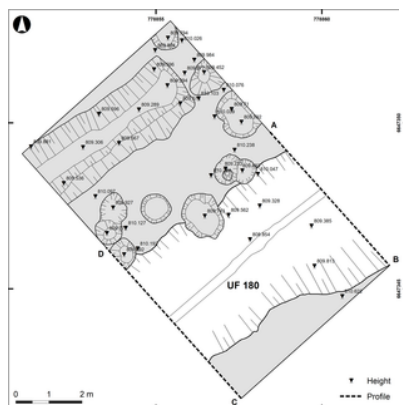


Fig 2. Bibracte / Mont Beuvray — La Chaume.

Plan de la partie excavée du fossé UF180 avec l'emplacement des sections du fossé (voir [Fig. 3](#) et [4](#)).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231790.g002>



Fig 3. Bibracte / Mont Beuvray — La Chaume (fossé UF180).
Section nord-est avec localisation des échantillons X1-X28 et positions d'échantillonnage micromorphologique AD.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231790.g003>



Fig 4. Bibracte / Mont Beuvray — La Chaume (fossé UF180).
Section sud-ouest avec localisation des échantillons G1-3.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231790.g004>

Nom des classes	Amphores des classes	Niveau de fragmentation des classes
F1 (10-15cm)	A1 (10-15cm)	F1 (101 - 1)
F2 (15-20cm)	A2 (15-20cm)	F2 (101 - 1-2)
F3 (20-25cm)	A3 (20-25cm)	F3 (101 - 2-4)
F4 (25-30cm)	A4 (25-30cm)	F4 (101 - 4-6)
F5 (30-35cm)	A5 (30-35cm)	F5 (101 - 6)

Tableau 1. Classes de taille de fragmentation des pierres, des amphores et des tessons.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231790.t001>

Pour identifier les processus de dépôt, l'indice de fragmentation du tesson (SFI) pour les poteries autres que les amphores a été calculé [37 , 38]. Cet indice permet de comparer la fragmentation des tessons, quel que soit le type ou la taille du récipient (par exemple, des béciers Aco fins importés avec de la poterie grossière fabriquée localement). Le SFI est défini par deux qualités: le poids (en grammes, m) et l'épaisseur du tesson (en millimètres, w) dans l'équation suivante [38]: $SFI = 5,8 (m / w^{1,7})$. Le SFI a été classé en cinq classes de fragmentation (F1-5) allant des tessons relativement petits et très fragmentés (F1) aux tessons plus grands et moins fragmentés (F5) ([tableau 1](#)).

La poterie et les amphores ont été classées et datées en fonction de la chronologie établie des découvertes en céramique de Bibracte oppidum [29 , 38 , 39].

La section nord-est du fossé visible dans le profil vertical complet de la tranchée ([Fig 3](#)) a été prélevée pour des analyses parasitologiques, palynologiques et diatomologiques, et à quatre endroits pour des analyses micromorphologiques. Des échantillons ont également été systématiquement prélevés sur des couches spécifiques lors de l'excavation pour le macrorobin végétal et les analyses anthracologiques.

Les données de la fouille archéologique ont été publiées en détail [40 , 41]. Les artefacts et tous types d'échantillons collectés lors de la fouille de La Chaume en 2017-2018 sont enregistrés dans une base de données et stockés au Centre archéologique européen de Glux-en-Glenne, France, sous les numéros d'intervention 866 (fouille 2017) et 894 (excavation 2018). Des échantillons de sol ont été prélevés individuellement selon les exigences des techniques analytiques (comme décrit en détail dans les sections spécifiques).

Datation au radiocarbone

Des échantillons d'une seule saison de croissance liés à l'activité humaine ont été sélectionnés pour la datation au radiocarbone. Des échantillons ont été récupérés à partir de fractions flottées d'échantillons de sédiments archéobotaniques. Les grains carbonisés les mieux conservés (de préférence d'un taxon) ont été sélectionnés dans les strates 2 à 5 et une brindille carbonisée d'un an a été sélectionnée dans la strate 1. Prétraitement (ABA à 60 ° C, [42]), combustion, graphitisation et des mesures de radiocarbone ont été effectuées au laboratoire de radiocarbone ETH Zürich AMS. OxCal et la courbe atmosphérique avec une résolution de 5 ans ont été utilisés pour l'étalonnage au radiocarbone (OxCal 4.3 © Christopher Bronk Ramsey 2019, [43]; IntCal13, [44]).

Sédimentologie et micromorphologie

Le fossé a été échantillonné à quatre positions stratigraphiques (A, B, C et D; [Fig 3](#)) et neuf sections minces ont été analysées. Le principal objectif de l'analyse était de comprendre les processus de formation. La position A a été échantillonnée au niveau le plus bas des fouilles en 2017 pour vérifier la présence de Fe / Mn-hydroxy-oxydes et de micro-charbon de bois, pour analyser l'état de la matière organique et pour évaluer comment la récente saturation en eau peut avoir changé le macroscopique. caractéristiques visibles dans cette position. L' *in-situ* échantillon mesurait 25 cm de long et, après imprégnation et durcissement, était divisé en cinq sections minces qui étaient divisées en quatre micro-unités (A1, en bas, à A4, en haut). La position B dans la partie centrale du fossé a été échantillonnée principalement pour déterminer l'horizon du sol détecté macroscopiquement et pour déterminer ses

processus de formation. L'échantillon de la position C comprenait une couche blanche macroscopiquement visible (micro-unité C1) et un horizon de type sol brun foncé au-dessus (micro-unité C2). Il a été échantillonné pour évaluer la composition de la couche blanche. La position D représente le fond d'un fossé creusé en 2018 et a été échantillonnée pour tester l'hypothèse de la fonction originale de l'élément en tant que fossé d'eau.

Des blocs de sol échantillonnés *in situ* ont été lentement séchés et imprégnés de résine Pollylite 2000 mélangée à de l'acétone dans une chambre à vide. Après durcissement pendant six semaines, des échantillons plus petits ont été coupés des blocs et coupés en fines sections séparément. Les coupes minces ont été préparées à l'Institut de géologie de l'Académie tchèque des sciences à Prague, République tchèque. Les dimensions des lames minces variaient entre 3 × 4 cm et 5 × 7 cm. Les descriptions et interprétations micromorphologiques sont basées sur [45 - 47].

Des descriptions détaillées et des résultats par échantillon sont publiés dans [40 , 41].

Macrorestes et anthracologie

Des échantillons de sédiments (57 échantillons; 325 litres) pour la récupération des graines et du charbon de bois ont été systématiquement collectés à partir d'unités stratigraphiques individuelles (UF) dans trois zones différentes du fossé: à proximité du profil SE, du profil NW et au centre du nord, pente du fossé. Pour garantir la récupération de tous les écofactes et artefacts, les échantillons ont été traités en utilisant une combinaison de flottation, de lavage et de tamisage humide [40]. Les fractions flottées séchées ont été triées et les restes de plantes ont été étudiés au microscope stéréoscopique (Leica M80 à max 50x). L'identification des taxons était basée sur la littérature disponible et sur une collection de référence moderne et archéologique. Pour le charbon de bois, les surfaces réfractives des fragments de plus de 2 mm ont été analysées au microscope avec une lumière réfléchie (Olympus BX 51 à max 200 x). Des descriptions détaillées et des résultats par échantillon pour la carpologie et l'anthracologie sont publiés dans [41 , 48]. Nous présentons ici les résultats des semences et du charbon après avoir rassemblé les échantillons dans les unités stratigraphiques plus larges correspondant aux principaux événements de dépôt.

Palynologie

Un total de 18 échantillons de pollen, provenant des mêmes positions que les échantillons de diatomées (Fig.3), et deux échantillons de surface de contrôle modernes (prélevés sur des mousses prélevées près de l'excavation) ont été analysés. Seule la fraction fine du dépôt a été utilisée pour la préparation de l'échantillon (volume 0,5 cm³), qui a suivi des méthodes d'acétolyse standard [49] avec de l'acide fluorhydrique utilisé à plusieurs reprises pour dissoudre la teneur en silice. Au moins 250 grains de pollen terrestre ont été comptés dans chaque échantillon. La détermination des grains de pollen était basée sur [49 , 50]. Les microcharbons ne sont pas affichés contre les grains de pollen en raison de leurs faibles nombres absolus dominants.

Les diatomées

Les diatomées sont utilisées dans le monde entier comme des bio-indicateurs importants pour la qualité de l'eau. En archéologie, ils sont utilisés pour établir la provenance des objets archéologiques, pour l'analyse des sédiments archéologiques et la reconstruction des environnements locaux du site. En général, les diatomées sont étudiées en relation avec les milieux marins, saumâtres et d'eau douce. Cependant, ils ne sont pas couramment utilisés pour étudier les sédiments dans les sites archéologiques terrestres [51]. Les diatomées dans les sédiments terrestres peuvent contribuer à l'analyse de la gestion et de la qualité de l'eau dans les anciens puits [52], drainages [53] et fossés [54]. Dans cette étude, l'analyse des diatomées a été initiée après la découverte de dépôts gorgés d'eau dans la partie inférieure du fossé.

Au total, 28 échantillons de diatomées ont été inspectés lors du pré-dépistage (présence / absence) suivi de l'identification et du dénombrement d'au moins 300 valves à diatomées (si présentes) sur une lame permanente. Les échantillons ont été préparés selon [55]. Les taxons ont été identifiés en utilisant [56]. Les indices de Van Dam d'Arrow [57] ont été utilisés pour déterminer les conditions environnementales. La saprobité et le trophée ont été déterminés à l'aide de l'indice de qualité écologique tchèque, l'halobité a été déterminée à l'aide de l'indice Ec et l'aérotolérance a été déterminée à l'aide de l'indice Aer / Aq [58].

Parasitologie

Au total, 33 échantillons ont été collectés pour l'analyse parasitologique. Parmi ceux-ci, 30 échantillons provenaient de la section (Fig.3) et trois du fond du fossé (G1-3; cf. Fig.4). Les échantillons ont été collectés à la truelle dans des récipients d'échantillons universels propres à usage unique de 60 ml (Greiner Bio-One). Les échantillons ont ensuite été manipulés dans des conditions propres au Département de zoologie, Université d'Oxford, Royaume-Uni (décrit dans [28]). Un sous-échantillon (5 à 10 g) a été réhydraté et désagrégé pendant une nuit dans 20 ml d'eau ultra-pure (Sigma-Aldrich). Deux cycles de microscopie ont été réalisés (Nikon Eclipse E400 avec objectifs Nikon 20x / 0,25 Ph1 DL et 40x / 0,65 Ph2 DL). Avant l'analyse microscopique, seule une agitation avant le pipetage a été effectuée pour arrêter la décantation du matériau plus dense. Une caméra QImaging MP5.0 RTV a été utilisée avec QImaging QCapture Pro pour enregistrer les œufs suspects et ces images ont été évaluées par rapport aux images de référence avant que le nombre final de comptage ne soit confirmé.

Résultats

Géophysique

Des levés magnétométriques à La Chaume, la partie centrale du plateau sommital du Mont Beuvray couvrant une superficie de près de 25 ha, ont détecté une structure linéaire de près de 270 m de long et 3–4 m de large s'étendant entre les fortifications de La Terrasse et du Porrey (Fig.5) et en continuant au-delà de la zone étudiée. Cette structure était invisible dans la topographie et les données LiDAR. La structure suit la direction SO-NE en suivant des courbes de niveau avec une altitude de 811 à 812 m. Nous l'avons interprété comme un fossé séparant la partie la plus élevée de La Chaume de ses environs.

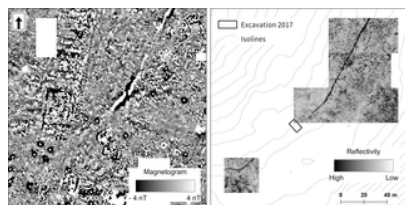


Fig 5. Bibracte / Mont Beuvray — La Chaume.

Résultats des levés magnétoétriques (à gauche) et GPR (à droite). Le fossé UF 180 est visible sous la forme d'une ligne claire qui court dans la direction NE-SW.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231790.g005>

Dans le levé magnétique, le fossé n'était que légèrement visible dans certaines parties en raison des faibles valeurs magnétiques (0,5–2 nT). Cependant, des valeurs magnétiques élevées (jusqu'à 100 nT) ont été détectées dans deux sections d'environ 40 m et 50 m de longueur, respectivement. Cela indiquait que le remplissage du fossé était composé de matériaux divers dans ces sections.

Le fossé était visible dans les données du géoradar sous la forme d'une structure linéaire homogène. Nous nous attendions à une représentation significative des pierres dans le remplissage du fossé. L'estimation originale supposait une profondeur de plus de 3 m. L'excavation ultérieure a montré que le fossé était moins profond. La partie inférieure du fossé, ainsi que son environnement immédiat, était saturée d'eau, ce qui a grandement influencé les résultats du levé géoradar.

Archéologie

Sur la base du levé géophysique, une tranchée a été coupée à travers la caractéristique linéaire nouvellement détectée. Les fouilles ont mis au jour un fossé de 4,5 m de large au sommet et 1,8 m de profondeur. Le fond était situé à 2,5 m sous l'horizon de marche moderne. La section transversale totale de la fosse a été documentée dans deux sections longitudinales de la tranchée (fig [deux - quatre](#)).

Sur la base de la combinaison de la stratigraphie archéologique, de la sédimentologie et de la micromorphologie, les couches individuelles ont été regroupées en cinq strates.

Datation basée sur des objets (principalement de la poterie).

La strate 1 était composée de loam sableux noir organique recouvert de gazon. Cette strate recouvrait le remplissage du fossé et a été perturbée par de nombreuses coupes ultérieures. Il avait un contexte inhomogène avec un mélange de trouvailles. Ces déchets contemporains inclus (par exemple, une bouteille Orangina), période moderne (par exemple, 19^e bouton militaire siècle), post-médiévale et médiévale, à côté des objets du 1^{er}–4^e siècle après J.-C. (époque gallo-romaine) et le 1^{er} siècle avant JC (occupation La Tène de l'oppidum).

Les dépôts des strates 2 à 5 représentaient le remplissage du fossé ([Fig 3](#) ; [Tableau 2](#)). La majorité des objets en céramique et en métal datent du 1^{er} siècle avant JC. Les découvertes médiévales se sont rarement produites dans la strate 2 [[40](#) , [41](#)].

Strata	Context	Description	Dating
1	100, 109	Organic black sandy loam under turf, overlying the infill of the ditch	Iron Age–La Tène D2b, Gallo-Roman period, Medieval, Post-Medieval, Modern
2	110, 116, 174, 159, 169, 118, 118, 204, 307, 217	Upper infill of the ditch	La Tène D2b – early Augustan period (50–20 BC) and earlier LT D1 material (120–50 BC)
3	128, 183, 245 – 254	Middle infill of the ditch	La Tène D2b (50–30 BC)
4	177, 178, 183, 263, 259, 281, 282	Lower infill of the ditch	La Tène D2b (50–30 BC) and older LT D1 material (120–50 BC)
5	275	Lowest infill of the ditch	La Tène D2b (50–30 BC)

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231790.t002>

Tableau 2. Bibracte / Mont Beuvray — La Chaume (fossé UF180).

Description et chronologie du remplissage.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231790.t002>

Au total, 4 220 fragments d'amphores (nombre minimum d'individus, MNI 169; poids 191,5 kg) et 2 158 fragments de poterie (MNI 276) ont été obtenus [[41](#)]. Les assemblages d'amphores et de poteries issus d'une fouille plus approfondie des strates 2 à 5 entreprise en 2018 (2887 tessons d'amphores, 56,2 kg; 988 tessons de poterie, 6,9 kg) ont fait l'objet d'une analyse plus détaillée.

La densité des tessons d'amphores dans le remplissage du fossé était la plus élevée de la strate 4. Les fragments d'amphores des strates supérieures 2 et 3 étaient plus petits et présentaient un degré d'usure plus élevé (composé en moyenne de 86% de tessons très usés) que dans les couches inférieures. strates 4 et 5 (en moyenne 66% de tessons très usés) (fig. [6](#) et [7](#)).

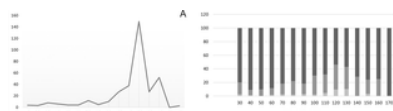


Fig 6. Bibracte / Mont Beuvray — La Chaume (fossé UF180).

(A) Densité des fragments d'amphores (axe X – profondeur; axe Y – densité en g/l). (B) Représentation proportionnelle de l'usure des tessons de poterie à différentes profondeurs de la tranchée (cm); A – peu d'usure, B – usure moyenne; C - très usé; pour le nombre de tessons cf. [Tableau S2](#) .

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231790.g006>

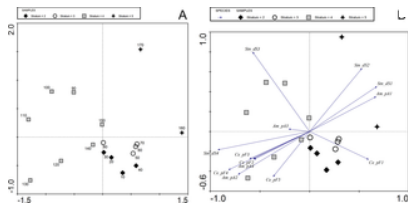


Fig 7. Bibracte / Mont Beuvray — La Chaume (fossé UF180).

Bibracte / Mont Beuvray — La Chaume (fossé UF180). Analyse en composantes principales des données de fragmentation des découvertes de céramiques et d'amphores et de la taille des pierres. (A) Exemple de parcelle avec des nombres indiquant la profondeur de l'échantillon (voir Fig 4). (B) Biplot de l'échantillon et des données environnementales (Ce = poterie, Am = amphores, St = pierre, d = taille, p = fragmentation; pour plus de légende, voir le [tableau 1](#)). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231790.g007>

Comme pour les fragments d'amphores, les tessons de poterie les plus fragmentés (F1) étaient mieux représentés dans les strates supérieures 2 et 3. La strate 4 était caractérisée par une forte proportion de poteries moins fragmentées (F3-5; Fig 7).

Les différences observées entre les strates 2 et 3 et les strates 4 et 5 peuvent être attribuées à des histoires de dépôt différentes [59 , 37 , 60]. La strate 5 contenait une petite quantité d'amphores et de poteries très fragmentées (aucune en bas), ce qui représente la période pendant laquelle le fossé a été progressivement comblé mais maintenu propre des déchets. Le remplissage rapide, probablement intentionnel, de la partie inférieure du fossé (strate 4) a probablement été effectué avec du matériel provenant d'une zone de déchets inconnue et de courte durée, ce qui a permis de déposer des fragments relativement grands provenant d'une pléthore de navires différents dans une strate (cf. [59]). Dans l'ensemble de 3875 tessons, seulement vingt fois deux tessons (non collés ensemble) ont été identifiés comme faisant partie du même objet en céramique, et un seul objet à 2 tessons et un objet à 13 tessons ont été détectés. Il est peu probable que ces gros tessons proviennent du voisinage immédiat (zone de dépotoir ou de peuplement à côté du fossé) car le nombre de tessons du même navire serait plus élevé [20 , 37]. Les strates inférieures du fossé (4 et 5) avaient également une densité plus élevée de composants en pierre, avec la plus grande part de grosses pierres dans la strate 4 (Fig 7).

En ce qui concerne l'origine taphonomique du matériau dans les strates 2 et 3, la petite taille et le vieillissement des bords des tessons indiquent qu'ils sont très probablement restés à la surface de la colonie ou dans une zone de déchets pendant une longue période de temps ou ont été à plusieurs reprises déplacé entre les dépôts [37].

Datation au radiocarbone

Les résultats de l'analyse radiocarbone sont résumés dans le [tableau 3](#) .

Strata	Site sample code	Laboratory sample code	C14 age BP	Uncalibrated date	δ13C (‰)	mg C	C/N ratio	Species	Description
1	B0007.02.008.007	B700.02204	871±22	1000-1220 calAD	-28.6±1	1.00	15.7%	<i>Corylus avellana</i>	seed fragment
2	B0007.02.016.004	B700.02206	2152±23	147-161 calBC	-24.8±1	0.99	16.7%	<i>Fragaria vesca</i>	seed fragment
3	B0007.02.018.017	B700.02205	2195±23	151-161 calBC	-25.3±1	0.99	15.0%	<i>Fragaria vesca</i>	seed fragment
4	B0007.02.026.001	B700.02207	2091±23	176-181 calBC	-24.1±1	0.99	15.6%	<i>Fragaria vesca</i>	seed fragment
4	B0007.02.026.008	B700.02208	2091±23	176-181 calBC	-26.7±1	1.00	16.4%	<i>Fragaria vesca</i>	seed fragment
5	B0007.02.025.001	B700.02201	2072±23	167 calBC-4 calAD	-26.2±1	0.99	16.4%	<i>Fragaria vesca</i>	seed fragment

Tableau 3. Bibracte / Mont Beuvray — La Chaume (fossé UF180).

Dates de La Tène ¹⁴C, étalonnage antérieur vague.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231790.t003>

Conformément à l'historique d'habitation du site, la brindille de *Corylus avellana d'* un an de la strate 1 est d'âge médiéval élevé ([tableau 3](#)). En ce qui concerne les deux périodes d'habitation de La Tène visibles dans la poterie (120–50 av.J.-C. et 50–30 av.J.-C.; [tableau 2](#)), les dates au radiocarbone restantes, à l'exception d'une, étaient antérieures à 50 av.J.-C. ou étaient datées autour de cette date ([tableau 3](#) , Fig 8). Seul le fragment de grain de la couche au fond du fossé (UF275) pourrait représenter une activité agricole à partir de 50 cal av. J.-C. (fig. 3 et 8 ; [tableau 3](#)). Ce serait en accord avec la poterie de La Tène D2b dans cette couche (50–30 av.J.-C.; [tableau 2](#)). Cependant, la plage calibrée était trop grande pour dater exclusivement le fragment de grain de la seconde moitié du 1^{er} siècle avant JC (Fig 8) car les événements archéologiques des années 70, 60 et 50 avant JC pourraient également entraîner des dates au radiocarbone se terminant autour de 1 cal AD (IntCal13: [44]).

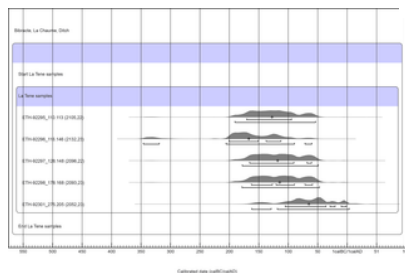


Fig 8. Bibracte, fossé à La Chaume.

Dates de La Tène ¹⁴ C, étalonnage antérieur vague. Les chiffres après le code du laboratoire désignent la couche archéologique et l'échantillon archéobotanique. Selon le vague étalonnage antérieur, seul ETH-92301 de la couche inférieure (UF275) pourrait représenter un événement archéologique de 50 à 30 ans avant JC ou plus tard. Les plages un et deux sigma avec des médianes sont indiquées sur la figure.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231790.g008>

En raison de la nature redéposée des sédiments dans le fossé et de la mobilité de l'échantillon de petite taille, un modèle de phase uniforme a été choisi pour l'étalonnage des déterminations de ¹⁴ C mesurées. Les limites de début et de fin de la phase uniforme indiquent le début et la fin de l'activité agricole représentés par les grains de céréales datés, et donc, le début et la fin de l'habitation de La Tène. Pour exprimer le début et la fin, les médianes des limites de début et de fin peuvent être utilisées, qui sont respectivement 159 cal BC et 84 cal BC (Fig 9). Cependant, ces valeurs ne représentent pas nécessairement des estimations exactes. Nos analyses utilisant les dates au radiocarbone simulées d'environ 120 à 30 av. J.-C. ont montré que les médianes des limites peuvent bien sous ou surreprésenter les valeurs vraies de plusieurs années ou décennies.

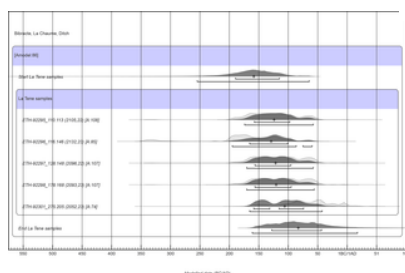


Fig 9. Bibracte, fossé de La Chaume.

Dates de La Tène ¹⁴ C, modèle monophasé borné. La médiane de la limite de départ est de 159 cal BC et la médiane de la limite de fin est de 84 cal BC. Les plages un et deux sigma avec des médianes sont indiquées sur la figure.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231790.g009>

Sédimentologie et micromorphologie

Le remplissage du fossé (Fig 3) était composé de matériaux modérément triés ou non triés avec des accumulations de pierres ne se produisant que dans des parties spécifiques. En général, cinq faciès lithologiques principaux couvrant des unités lithologiques distinctes ont été distingués macroscopiquement dans le remplissage du fossé (tableau 4). Les transitions entre les couches (cf. Fig 3) étaient nettes ou abruptes.

Stratigraphic units (UF)	Description
116, 115, 118, 119, 169, 178, 183	Unsorted sandy loam containing angular stone fragments (few cm in diameter) with light beige colour formed the bottom part of the infill
180	Infill contained a black coloured tough band, macroscopically suggesting the presence of Mn/Fe hydroxy-oxides
178	Light brown unsorted sandy loam containing angular stone fragments (few cm in diameter)
109, 128	Dark coloured organic rich deposits were detected as relatively thick layers (few cm), these were silty to sandy loam and rich in stone fragments
116	Silty to sandy loam and rich in stone fragments. For UF116, a thin white band with sharp transitions below and above was detected.
100	Grey black silty loam containing angular stone fragments (few cm in diameter), these deposits were highly bioturbated with a number of roots and earthworm features.

Tableau 4. Bibracte / Mont Beuvray — La Chaume (fossé UF180).

Description sédimentologique des principaux faciès lithologiques.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231790.t004>

L'analyse micromorphologique des échantillons des positions AD comprenait quatre strates (2–5). La description détaillée des micro-unités individuelles est présentée à la figure 10 .

Microunit	Mikrostruktur	Flächenbelegung	Korngröße	DF	Lithologie	Organic residues						Phytoliths	Planting	Features		
						Charcoal	Charcoal	Planting	Planting	Planting	Planting					
AD 2	SA-B	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
AD 3	G	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
AD 4	F	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
AD 5	D	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Fig 10. Bibracte / Mont Beuvray — La Chaume (fossé UF180).

Description micromorphologique des micro-unités individuelles. SA-B - bloc subangulaire; G - granulaire; F - fissure; CP - vides de garnissage composés; MS - modérément triés; États-Unis - non triés; Cr - cristallisé; SS - pointillé moucheté; B - marron; LB - brun clair; Ob - brun orangé; SL - loam sableux; ND - non décomposé; PD - partiellement décomposé; D - décomposé; ch - charbon de bois; B - os; 0 - rare; * - présent; ** - commun; *** - très commun.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231790.g010>

La position D (strate 5) était composée d'une matrice à grains fins. Si le nombre de diatomées semble faible, le micro-charbon, la matière organique fragmentée à grain fin et les phytolithes sont courants. Il n'y avait pas de stratification suggérant de l'eau courante et le matériau s'est probablement accumulé dans l'eau stagnante sur une période de temps prolongée (semaines,

Species	1	4	3	2	5	NISP (g)	NISP	Umg
<i>Fagus sylvatica</i>	9.13	23.04	2.07	20.88	2.89	31.21	3194	91
<i>Quercus sp.</i>	3.93	4.88	3.27	3.87	3.86	28.15	322	42
<i>Corylus avellana</i>	0.37	0.42	0.31	0.42	0.43	2.76	27	26
<i>Cytisus scoparius</i>	0.63	0.79	0.20	0.71	0.28	2.97	44	22
<i>Alnus sp.</i>	0.17	0.79	0.31	0.38	0.22	1.78	37	22
<i>Prunus sp.</i>	0.31	0.11	0.11	0.43	0.07	4.99	34	16
<i>Populus</i>	0.84	0.10	0.18	0.11	0.08	0.74	31	14
<i>Betula sp.</i>	0.01	0.41	0.21	0.31	0.11	0.96	21	12
<i>Betula/Alnus</i>	0.02	0.08	0.11	0.11	0.11	0.26	2	2
<i>Quercus/Castanea</i>	0.02	0.42	0.11	0.42	0.08	0.99	32	14
<i>Populus/Salix</i>	0.02	0.42	0.11	0.42	0.08	0.99	32	14
<i>Salix sp.</i>	0.02	0.42	0.11	0.42	0.08	0.99	32	14
<i>Acer sp.</i>	0.02	0.42	0.11	0.42	0.08	0.99	32	14
<i>Sambucus sp.</i>	0.02	0.42	0.11	0.42	0.08	0.99	32	14
<i>Carpinus betulus</i>	0.02	0.42	0.11	0.42	0.08	0.99	32	14
<i>Ulmus</i>	0.02	0.42	0.11	0.42	0.08	0.99	32	14
Total identified	19.12	26.29	6.41	37.91	6.36	41.41		

Tableau 6. Bibracte — La Chaume, les différentes strates du remblai du fossé UF180.
Poids des taxons déterminé dans le charbon de bois (en g).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231790.t006>

La troisième espèce la plus fréquemment trouvée était le noisetier (*Corylus avellana*). Les espèces des forêts claires (cf. *Cytisus scoparius*, *Betula* sp.) Et des sols humides (*Alnus* sp., *Populus* sp., *Populus / Salix*) étaient moyennement communes. Le châtaignier (*Castanea / Quercus*) et les *Pomoïdæ* (tableau 7) provisoirement identifiés étaient courants. Le charme (*Carpinus betulus*), l'érable (*Acer* sp.) Et le sureau (*Sambucus* sp.) Étaient rares.

Category	Diatom lifestyle
FF1	planktonic taxa (centric diatoms)
FF2	typically periphytic taxa adhering to the surface
FF3	facultatively benthic/planktonic araphid taxa
FF4	facultatively benthic/planktonic taxa with raphe
FF5	actively moving epiphytic taxa

Tableau 7. Catégories de traits fonctionnels du mode de vie des diatomées.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231790.t007>

Le charbon de bois et la composition des taxons variaient dans les strates (Fig 11). La strate 5 contenait moins de charbon (9,7 g) que la strate 4 (22,5 g), mais toutes deux comprenaient près de 60% de *Fagus* et plus de 20% de *Quercus*. La strate 5 avait plus de *Fraxinus*, tandis que la strate 4 avait plus de charbon de bois provenant d'arbres poussant dans des sols humides comme *Alnus* et *Populus / Salix*. Les remblais supérieurs des fossés (strates 3 et 2) étaient également différents, bien que cela puisse être dû au faible nombre d'échantillons dans la strate 3 (deux échantillons) par rapport à la strate 2 (17 échantillons). La strate 3 contenait un peu plus de *Quercus* (3,27 g) que de *Fagus* (2,07 g) ainsi que la plus grande proportion de *Alnus* dans l'assemblage. La strate 2 contenait la plus grande quantité de charbon de bois dans l'ensemble (plus de 700 fragments, 37,9 g), dominée par *Fagus* avec une abondante châtaigne provisoirement identifiée (*Castanea / Quercus*). Pour la première fois, *Sambucus* et *Carpinus* ont été identifiés. La strate 1 sus-jacente, bien que constituée de plus de 100 fragments, contenait les taxons les plus communs et les frênes, châtaigniers / chênes et *Pomoïdæ*.

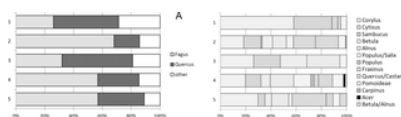


Fig 11. Bibracte, La Chaume – fossé (UF 180).
(A) Valeurs NISP du charbon de bois du hêtre, du chêne et d'autres taxons par strate. (B) Pourcentages de taxons individuels dans les «autres» catégories (sur la base du NISP).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231790.g011>

Une comparaison de notre assemblage avec des données antérieures du site [64] a révélé deux différences principales. Contrairement aux données rapportées, notre assemblage contenait plus de *Fagus* que de *Quercus*. Deuxièmement, les spectres des arbres et des arbustes ne couvraient pas tous les taxons enregistrés dans le charbon de bois ou le bois gorgé d'eau. Des rapports antérieurs sur le charbon ont également identifié *Prunus cf. padus / avium*, *Alnus glutinosa*, *Hedera helix*, *Juglans regia*, *Abies alba* et *Tilia* sp. Le bois non broyé contenait également *Juniperus communis*, *Ulmus* sp., *Lonicera* sp. et *Ilex* sp.

Palynologie

Les grains de pollen n'ont été conservés que dans les strates 5, 4, 2 (peu) et 1 (Fig 12). Les grains étaient souvent endommagés ou corrodés et ne permettaient pas une identification claire. Les microcharbons étaient les particules les plus abondantes, la majorité étant constituée d'herbes. Les microcharbons de bois étaient rares, mais étaient plus abondants dans les strates 2 et 1.

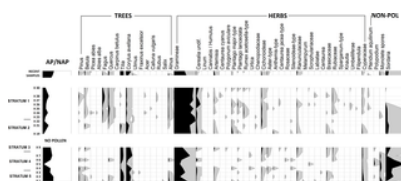


Fig 12. Bibracte / Mont Beuvray — La Chaume (fossé UF180).
Diagramme de pourcentage de pollen de taxons sélectionnés.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231790.g012>

Les strates 5 et 4 avaient un rapport de pollen arboricole (AP) sur pollen non arboricole (NAP) d'environ 35%. La forêt était principalement composée de *Corylus* et de *Tilia* ; tandis que *Betula*, *Pinus* et *Quercus* étaient moins fréquents. La forte abondance de *Tilia* était intéressante car elle est rarement trouvée dans les relevés polliniques régionaux [65]. Le spectre des plantes médicinales était dominé par le pollen de graminées. La présence de pollen de céréales était faible (inférieure à 5%) et une seule graine de *Linum a* été observée représentant d'autres cultures. Il y avait une faible fréquence de *Rumex acetosella*- type et *Plantago lanceolata*, qui sont des indicateurs de sites pâturés et piétinés. La présence d'ascospores fongiques de *Sordaria* indique que les strates 5 et 4 ont été formées par l'accumulation et la décomposition de matière organique, et les spores monolètes de mousses et de fougères indiquent des conditions humides.

La strate 2 (échantillons X-19 et X-21) avait un rapport AP / NAP d'environ 20% (inférieur aux strates 4 et 5), mais sa composition en espèces forestières était similaire.

La strate 1 avait une composition boisée différente de celle des strates 2, 4 et 5. L'abondance de *Fagus*, *Quercus* et *Corylus* correspondait à la végétation médiévale et actuelle. D'autres arbres tels que *Betula* et *Pinus* étaient moins communs. Fait intéressant, *Alnus* était présent, bien que le site se trouve à l'extérieur des alluvions. L'abondance des pollens de graminées dans la strate 1 était supérieure à 60%, ce qui est plus élevé que dans les strates inférieures 4 et 5. Le pollen de Cerealia a atteint un sommet dans la strate 1 pour atteindre 20%. Le pollen de *cannabis* était important dans la région pendant la période médiévale. Indicateurs de piétinement (par exemple, *Plantago major*) et d'habitats ouverts (par exemple *Cichorioideae*) étaient communs. *Pteridium aquilinum a* indiqué une paupérisation et des forêts perturbées.

Les échantillons de mousses témoins contemporains avaient un rapport AP / NAP de 45% (plus élevé que les échantillons archéologiques), avec une abondance croissante de *Corylus* et de *Tilia*. Il y a eu une légère baisse du pollen de graminées dans la partie herbacée de la somme de pollen, mais sinon, les espèces étaient aussi abondantes que dans les strates 1 et 2.

Les diatomées

Au total, 49 taxons de diatomées ont été trouvés (45 espèces de diatomées pennées et quatre espèces de diatomées centrées) ([tableau S3](#)). La richesse en espèces variait de 3 à 20 taxons de diatomées par échantillon. La richesse en espèces la plus élevée a été calculée pour les échantillons X1, X2, X6 et X7 (plus de 17 taxons) et la plus faible pour les échantillons X13, X14 et X21 (3 taxons dans chacun de ces échantillons). La diversité globale des diatomées était assez faible. Cependant, les échantillons contenaient un nombre suffisant de bioindicateurs pour en déduire les conditions écologiques de la période pendant la formation du remblai de fossé.

L'abondance de diatomées dans les échantillons X1-X9, X11, X19 et X24 était suffisante pour compter 300 individus par échantillon sur une lame permanente. Les échantillons quantifiés des strates 5 et 4 (X1-X9) contenaient 13 à 20 espèces par échantillon, et ceux des strates 3 et 2 (X11, X19 et X24) contenaient 6 à 16 espèces par échantillon. Les échantillons restants ne contenaient que 0 à 3 espèces par échantillon ainsi que quelques individus seulement (0 à 36).

La composition en espèces des échantillons de diatomées a indiqué une bonne qualité de l'eau correspondant à la β -mésosaprobité et à la mésotrophie. Les valeurs de l'indice de qualité écologique tchèque vont de 2 (strates 4, 5) à 1 (strates 1 à 3), ce qui montre que la qualité de l'eau tend à s'améliorer du fond du fossé à la surface. Les échantillons contenaient également des indicateurs d'eau propre (oligosaprobité et oligotrophie), tels que les différentes espèces du genre *Eunotia* (par exemple, *E. Bilunaris*) et *Pinnularia* (par exemple, *P. Sinistra*, *P. Viridiformis*), *Fragilaria rumpens* et en petits nombres *Fragilaria virescens*, *Gomphonema coronatum*, *G. subclavatum* et *Tabellaria* sp. Les taxons indiquant une eau de mauvaise qualité (α -mésosaprobité – polysaprobité, eutrophie – hypertrophie) n'apparaissaient que dans de petits nombres (par exemple, espèces *Hippodonta capitata*, *Mayamaea atomus*, *Suriella angusta* et représentants des genres *Craticula* et *Nitzschia*). L'indice CE d'halobité a fluctué autour de 2 (pour toutes les strates), ce qui a montré que la composition des espèces correspondait à une halobité / conductivité moyenne avec l'absence de taxons typiquement halobiontes. La présence de plusieurs espèces des genres *Eunotia* et *Pinnularia* de l'espèce *Gomphonema coronatum* indique un pH légèrement acide (substrat rocheux acide).

La composition en espèces des échantillons X1-X6 (strate 5 et partie inférieure de la strate 4) indiquait de l'eau stagnante (p. Ex., *Diatomée* planctonique *Punctulata* dans les échantillons X1 et X6). L'échantillon X7 (partie médiane de la strate 4) représentait un seuil entre un milieu aquatique et un milieu terrestre, indiqué par le grand nombre de taxons aérotolérants *Hantzschia amphioxys* et *Pinnularia borealis*. Ces deux taxons aérotolérants ont également dominé les échantillons restants (de X8 à X28), indiquant un environnement terrestre.

Les échantillons contenaient principalement des diatomées pennées et quelques individus de taxons planctoniques (diatomées centrées). Les diatomées pennées étaient soit exclusivement des taxons benthiques (vivant dans la rivière / le fond de l'eau stagnante), soit facultativement des taxons benthiques / planctoniques (c.-à-d. Alternant entre un mode de vie planctonique et benthique au cours du cycle de vie). Certains des genres de diatomées pennées avec un raphé (genres raphid) sont capables de se déplacer activement, tandis que les genres araphides (sans raphé) ne se déplacent que passivement. Pour décrire ces styles de vie particuliers de taxons de diatomées, cinq catégories de traits fonctionnels (FT) ont été utilisées après [66] ([tableau 7](#)).

Les diatomées de l'eau présentes dans les strates 5 et 4 (échantillons X1-X7) comprennent des représentants des cinq groupes FT ([Fig. 13](#)) - en particulier les taxons FT2 et FT3 étaient abondants ([Fig. 14](#)). Les diatomées périphtiques (comme le *Gomphonema parvulum* et le *Planothidium frequentissimum* les plus abondants) vivent attachées au substrat par des tiges, des coussinets ou des films mucilagineux. *Ulnaria ulna* et *Fragilaria rumpens*, les représentants les plus abondants du groupe FT3, sont des diatomées araphides pennées au mode de vie alterné (plancton / benthos). Les catégories FT4 et FT5 étaient présentes dans les cinq strates; mais la richesse en espèces de ces deux groupes était beaucoup plus élevée dans les strates 4 et 5. L'abondance de FT4 et FT5 dans les strates 1-3 était principalement composée d'espèces de diatomées terrestres aérotolérantes *Hantzschia amphioxys* et *Pinnularia borealis*.

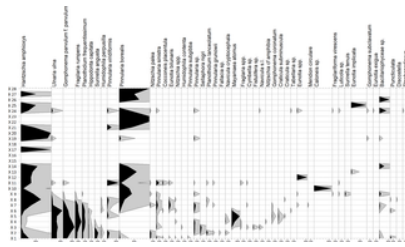


Fig 13. Bibracte / Mont Beuvray — La Chaume (fossé UF180).
Diagramme de diatomées en pourcentage.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231790.g013>

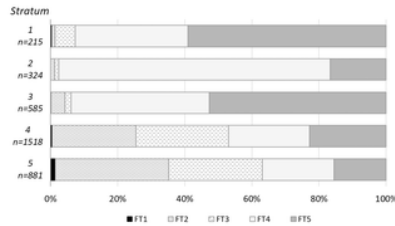


Fig 14. Bibracte / Mont Beuvray — La Chaume (fossé UF180).
Représentation des traits fonctionnels dans les strates individuelles.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231790.g014>

Parasitologie

Des œufs de parasites ont été détectés dans 16 des 33 échantillons (48,5%, [tableau 8](#)). Les parasites les plus couramment détectés étaient les nématodes helminthes *Ascaris* et *Trichuris* . Les deux sont des parasites fécaux-oraux infectant les humains. Ces helminthes ont souvent été signalés dans une variété de sites archéologiques, par exemple [[28](#) , [67](#)]. Les quantités détectées étaient relativement faibles et indiquent que le fossé n'a pas été utilisé comme dépôt primaire pour les matières fécales ou les excréments d'animaux. Le cestode (ténia) *Diphyllobothrium* , qui est transmis par la consommation de poissons d'eau douce crus ou insuffisamment cuits, était présent dans deux échantillons.

Stratum	Sample ID	Ascaris	Trichuris	Diphyllobothrium
1	329	100000	100000	0.0
	327	270.0	0.0	0.0
	326	240.0	0.0	0.0
2	323	0.0	111.1	0.0
	322	120.0	0.0	0.0
	324	0.0	0.0	0.0
3	321	0.0	222.2	0.0
	320	100.0	0.0	0.0
	317	0.0	111.9	0.0
4	313	0.0	0.0	0.0
	309	111.3	0.0	0.0
	307	0.0	0.0	0.0
5	305	0.0	111.2	0.0
	301	10.0	0.0	0.0
	300	170.1	0.0	0.0
6-9	1402	0.0	111.9	0.0

Tableau 8. Bibracte, La Chaume, fossé UF180.
Estimations extrapolées des densités parasitaires par genre.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231790.t008>

Discussion

Le but ou l'importance des espaces apparemment vides dans les sites fortifiés est une question largement débattue [[13](#) , [15](#) , [17](#)]. Le fossé de Bibracte a enfermé un tel espace pendant le 1^{er} siècle av.J.-C., avant d'être comblé. Le fossé identifié lors des levés géophysiques traversait apparemment un « espace vide » à l'intérieur des remparts intérieurs de La Terrasse et du Porrey à Bibracte. Pour étudier l'utilisation prévue de l'espace, nous avons appliqué un large éventail de méthodes pour élucider la « vie et la mort » du fossé. Cette approche multidisciplinaire est nouvelle et pourrait constituer une base pour de futures investigations sur ces espaces apparemment vides. Cela soulève également d'autres questions sur des questions centrales comme la gestion de l'eau et des déchets à l'intérieur des sites fortifiés de l'âge du fer.

Formation et remplissage du fossé

Les différentes strates reflètent le processus par lequel le fossé a été comblé et fournissent des informations précieuses sur son environnement. La clé pour une compréhension complète de ce processus s'est avérée être la combinaison des différents mandataires se complétant et se confirmant mutuellement, et par conséquent, fournissant une base complexe et solide pour notre compréhension.

La strate 5 ([figure 3](#) ; [tableau 2](#)) représente le remblai primaire du fossé qui s'est formé pendant ou peu de temps après sa première utilisation. Les preuves disponibles ne sont pas suffisantes pour déterminer la date à laquelle le fossé a été construit. La durée de vie du fossé dans sa fonction d'origine, c'est-à-dire avant son remplissage principal, aurait pu être très courte [[22](#)] ou assez longue lorsqu'elle était maintenue propre. Cela a été démontré pour les fossés médiévaux qui existaient depuis des centaines d'années, attesté à la fois par l'archéologie et les sources écrites [[54](#) , [68](#)]. Aucune trace de réparation ou de retailage n'a été identifiée dans le fossé de La Chaume. Son entretien n'a probablement été géré que par le brûlage de la végétation,

comme le suggèrent les nombreux microcharbons de *Graminées* présents dans la micromorphologie et la palynologie. Les fossés de rondelles néolithiques, par exemple, ne contenaient pas de charbon de bois et, par conséquent, leur entretien devait être géré différemment [22]. Au cours des premières étapes de son utilisation, le fossé de La Chaume, Bibracte, contenait de l'eau stagnante comme le montrent les analyses micromorphologiques et diatomiques (Fig 10). La composition des espèces de diatomées dans les strates 5 (et 4) indique une masse d'eau stagnante basée sur plusieurs individus de diatomées planctoniques centrées qui y ont été trouvés. Nous pouvons certainement exclure une eau à écoulement rapide en raison de l'absence de taxons typiquement rhéophiles. De plus, les espèces plus grandes (telles que *Ulnaria ulna* abondante et fréquente) ne resteraient pas dans l'eau courante. De l'eau stagnante (ou se déplaçant lentement) jusqu'à 60 cm du fond peut s'être accumulée dans le fossé pendant les pluies et le sous-sol imperméable a pu retenir l'eau pendant une période de temps relativement longue. La richesse en espèces de diatomées indique un écosystème aquatique stable et bien développé. Les analyses des diatomées et des parasites fournissent des preuves supplémentaires d'une eau relativement propre sans impact anthropique important. Le nombre de parasites transmis par voie fécale orale était relativement faible par rapport aux latrines ou aux dépôts de déchets où des matières fécales humaines étaient déposées (voir dans [28]). Il est hautement improbable que le fossé ait été utilisé comme égout sanitaire. L'apparition d'un remblai contenant de grandes amphores et des fragments de poterie marque le moment où le fossé avait perdu sa fonction d'origine. La poterie et les amphores datent de 50–30 av. J.-C. (TPQ), ce qui est en accord avec les dates au radiocarbone.

La strate 4 a été formée intentionnellement par des gravats redéposés, probablement utilisés pour niveler le remplissage du fossé, qui était rempli d'eau stagnante dans la partie inférieure. Les diatomées aérotolérantes commencent à apparaître dans la partie médiane de la strate 4 et dominent tous les échantillons jusqu'au sommet. La sédimentation est probablement devenue plus intense après le dépôt des scories. Au-dessus, le remplissage montre déjà des signes de matériau colluvié. La présence du revêtement d'argile sale et des remplissages le long des granules d'agrégats dans les échantillons micromorphologiques (Fig 10) reflètent le dépôt de matière perturbée. Cela indique que l'étape de dépôt de ce matériau s'est déroulée assez rapidement. Les couches inférieures (4 et 5) du fossé remplissent des fragments de poterie de grande taille moins érodés se sont formés au moment de son utilisation ou peu de temps après parce que les tessons sont trop gros pour faire partie d'une `` couche culturelle `` et il y a trop peu de fragments correspondants pour suggérer des déchets primaires.

La strate 3 reflète une période d'environnement stable lorsque le fossé a été nivelé et sa surface a été envahie par la végétation. La pédogenèse avait commencé et un horizon A humique s'était développé. Cette évolution peut avoir entraîné un faible afflux de matières végétales carbonisées. L'abondance des diatomées et la richesse en espèces étaient faibles en raison de la diminution de l'humidité [69]; cependant, une abondance et une diversité de diatomées étonnamment élevées se sont produites dans les échantillons X11, X19 et X24 où les diatomées de l'eau sont réapparues, probablement causées par des inondations à court terme comme une mare d'eau de pluie. Avec le temps, le remplissage du fossé a été comprimé en raison de l'affaissement et une dépression linéaire indiquant le tracé initial du fossé est probablement apparue. Cette dépression était remplie du matériau constituant la strate 2.

La strate 2 a révéla la présence de matériaux de construction, ce qui indique que le fossé servait uniquement de dépotoir pendant cette période. Les activités de construction peuvent avoir été liées à la construction dans les locaux du sanctuaire à proximité, soit pendant la période augustéenne ou, au plus tard, au cours du 1^{er} siècle après JC [70]. L'absence de valves à diatomées dans les échantillons X15, X16 et X18 peut avoir été causée par un environnement complètement desséché qui était probablement lié à la présence de déchets de construction. Il est peu probable que le fossé ait été comblé avec l'intention de niveler le sol car nous pouvons distinguer de minces couches de décharge ainsi que des horizons de sol avec des signes évidents de processus pédogénétiques.

Stratum 1 formée sur le dessus d'un déjà rempli en fossé et contient des traces d'activités du gallo-romain (1^{er}-3^{ème} siècle AD), les périodes médiévales et postmédiévales. Des sources écrites documentent les marchés annuels pendant les périodes médiévales et post-médiévales (à partir de 1236 après JC selon des sources écrites [33]), mais les marchés peuvent également avoir eu lieu là-bas beaucoup plus tôt. La réapparition des personnes et leurs normes d'hygiène inférieures sont évidentes dans une augmentation des quantités de parasites et du spectre des cultures (mil et seigle), qui est différent des taxons de l'âge du fer et plus typique de la période médiévale dans la région (tableau 5 ; [63]). Le nombre et / ou la taille des champs à proximité ont augmenté, comme le montre la palynologie (Fig 12). Pendant ces périodes, les traces du fossé avaient déjà complètement disparu du relief.

Concernant la datation au radiocarbone, deux problèmes sont apparus. Premièrement, les sédiments redéposés (strates 2, 3 et 4) et la petite taille des échantillons au ¹⁴C font de la mobilité des échantillons un problème sérieux. Cette mobilité nous empêche de lier à juste titre les déterminations de ¹⁴C mesurées avec les temps de formation ou de dépôt des strates individuelles. Ainsi, les échantillons datés de La Tène ¹⁴C en soi n'indiquent que des activités agricoles. Le deuxième obstacle à une utilisation concluante du radiocarbone à des fins archéologiques est la production atmosphérique de ¹⁴C dans les périodes d'habitation suggérées par la poterie (120–50 avant JC et 50–30 avant JC; tableau 2). Individuel ¹⁴C Les dates C pour les événements archéologiques de 120 à 30 avant JC donneront de larges plages de dates calibrées incapables de répondre aux questions de développement chronologique intra-site subtil (IntCal13: [44]). Les grains de céréales de la période La Tène extraits du fossé n'informent pas directement sur la formation ou le dépôt de strates de fossés. Ces petits échantillons de ¹⁴C très mobiles dans les sédiments redéposés et la production atmosphérique de ¹⁴C au cours des deux derniers siècles avant notre ère ont donné des résultats sans résolution chronologique suffisante. Néanmoins, le ¹⁴C Les dates C des strates 2, 4 et 5 pourraient être considérées comme conformes à la chronologie absolue suggérée par les artefacts présents. Les médianes du modèle monophasé situent le début de la période d'habitation à 159 cal av. J.-C. et sa fin à 84 cal av. J.-C., bien que ces dates soient probablement sous ou surestimées des valeurs réelles. Évidemment, pas une seule détermination mesurée du ¹⁴C n'a une valeur typique de 30 BC ou plus. Les quatre grains de céréales proviennent au plus tard d'environ 50 cal av. J.-C. et un seul peut, mais pas nécessairement, provenir de 50 cal av.

Fonction du fossé

Bibracte est un oppidum de La Tène tardif avec une forte influence romaine, qui a augmenté après 50 av. Compte tenu de la date probable du remplissage intentionnel du fossé entre 50 et 30 avant JC, la fonction du fossé doit être recherchée dans ces deux milieux culturels. Les fossés en forme de V sont caractéristiques de l'architecture de fortification romaine dans les camps de courte durée, fréquemment documentés en Gaule [71] et au-delà [72]. La présence militaire romaine à oppida est attestée à la fois par des sources écrites (pour Bibracte cf. [31]) et des archives archéologiques (par exemple, Chaussée-Tirancourt: [73]; Titelberg: [74]). Nous manquons encore de preuves incontestables de la présence militaire romaine à La Chaume, le haut plateau de Bibracte oppidum à proximité du fossé (cf. [75]), bien que, selon les écrits, César ait passé l'hiver 52/51 av. J.-C. à Bibracte [31].

Les fossés situés *intra muros* dans les sites fortifiés de la fin de l'âge du fer (oppida) sont généralement des espaces délimités ou fermés avec des fonctions spéciales ou une grande importance pour les fonctions religieuses ou publiques, ou une combinaison de ceux-ci (par exemple, Villeneuve-Saint-Germain: [76]; Titelberg : [13]), ou a servi de drains d'eau (Manching: [15]). La topographie et la géophysique de la zone étudiée indiquent que le fossé pourrait être relié aux fortifications de La Terrasse et du Porrey. Il était auparavant considéré comme deux sommets séparés et fortifiés individuellement basés sur de multiples fossés palissadés et un talus (partiellement) préservé qui y est documenté depuis longtemps [35 , 36]. Le levé géophysique a montré que le fossé de La Chaume rejoint le fossé entourant La Terrasse (Fig_1), tandis que sa partie nord est orientée vers le système de fortification du Porrey. La date des enclos à La Terrasse et au Porrey n'est pas bien établie; les fossés il contient les 1^{er} siècle avant JC découvertes, bien que par eux - mêmes , ils peuvent être plus anciens (voir le 3^{ème} siècle datations de la Colombie - Britannique du rempart La Terrasse: [77]).

Le fossé enserrant La Chaume et La Terrasse renfermait très probablement une zone spéciale, éventuellement à fonction socio-sacrée. Elle peut être considérée comme une zone religieuse, si l'on considère la continuité des lieux sacrés et la présence d'un sanctuaire du 1^{er} siècle après JC à son voisinage, et / ou d'un lieu de rassemblement. Des sanctuaires avec une enceinte curviligne et presque pas de constructions à l'intérieur sont connus en Gaule à partir du III^e siècle avant JC (Mirebeau-sur-Bèze, Ribemont-sur-Ancre: [78]), et ont également été décrits en oppida (Alésia: [79]; Titelberg: [13]). Bien que les résultats du fossé de La Chaume soient limités en ce qui concerne la clarification de la fonction de la zone qu'il renfermait, l'étude a prouvé que la zone était maintenue comme prairie (basée sur une majorité de taxons de pollen de prairie), éventuellement avec un bosquet délibérément planté de tilleuls (sur la base de la dominance du pollen de tilleul, qui ne se produit naturellement pas dans la zone), n'ont pas été utilisés pour la culture des cultures (absence de pollen de céréales) et ont été maintenus propres avec un accès limité pour les humains et les animaux (à base de diatomées et analyses parasitaires).

L'environnement de l'oppidum

Malgré d'intenses recherches à Bibracte, nous en savons très peu sur l'environnement *intra muros* [80]. L'analyse palynologique menée lors de nos fouilles nous donne un aperçu de la végétation poussant aux abords du sommet et nous permet de réfléchir sur le rôle de la végétation dans l'urbanisme oppidum. Des analyses de diatomées et de parasites ont été utilisées dans l'oppidum pour la première fois et ont fourni des informations précieuses sur les niveaux d'hygiène et la gestion des déchets.

La zone à proximité du fossé au sommet du mont Beuvray semble avoir été déboisée pendant toute la période de remplissage du fossé. La présence d'herbe a été clairement documentée dans les microcharbons et le pollen. La végétation du Bibracte oppidum telle qu'observée au fond du remblai de fossé peut être reconstituée en tant que forêt secondaire perturbée sans espèces forestières naturellement dominantes telles que *Fagus* ou *Quercus*, qui étaient généralement les arbres les plus abondants du Morvan pendant l'Holocène tardif [65]. Les plantes ligneuses les plus représentées (*Corylus* et *Tilia*) étaient probablement présentes sous forme d'arbustes suite à une gestion spécifique de la forêt, d'arbres solitaires ou d'un bosquet (une production plus élevée de pollen dépendrait de l'effet de clairière en paysage ouvert: [81]). Il est intéressant de noter que la présence commune de *Tilia* [80] doit être due à une plantation délibérée ou à une exclusion délibérée de la déforestation à l'intérieur des remparts car sa présence dans les registres polliniques régionaux est rare. L'environnement *intra* et *extra muros* (à l'époque où le fossé était dans son utilisation principale) était riche en *Corylus*, qui était abondant à la fois dans le pollen et le charbon de bois.

L'assemblage de charbon de bois enregistré à partir de la partie inférieure du remplissage du fossé montre la dominance du hêtre et provient principalement de cendres de foyer rejetées avec un mélange de taxons collectés à proximité, basé sur le mécanisme le moins d'effort pour la collecte du combustible domestique. Une partie du charbon de bois peut provenir de constructions brûlées, mais ni les assemblages des strates ni ceux des échantillons individuels ne peuvent être expliqués comme représentant uniquement des restes de constructions brûlées (par exemple, palissade en bois). Écologiquement, les taxons de bois reflètent divers types de forêts. En dehors du mélange hêtre-chêne avec noisetier (et probablement *Ulmus* et *Carpinus*), nous voyons des preuves d'arbres qui aiment l'humidité poussant sur les rives des ruisseaux ou dans les zones humides (*Alnus*, *Salix*, *Populus*), arbres cultivés dans l'environnement instable des ravins (*Acer*), forêts humides rudéralisées (*Sambucus*) et peuplements ouverts (*Cytisus scoparius*) et reboisés lentement (*Betula*).

L'enregistrement pollinique dans la partie supérieure du remplissage indique des structures paysagères médiévales et post-médiévales lorsque la végétation était divisée en forêt, pâturage et champs. La représentation plus élevée des cultures dans le pollen (par rapport aux strates de l'âge du fer) correspond à l'existence de cultures arables locales; malgré la mauvaise qualité des sols, des champs étaient présents au Mont Beuvray jusqu'à la Seconde Guerre mondiale.

La propreté de l'eau du fossé au moment de sa première utilisation, confirmée par des analyses de parasites et de diatomées, montre que la zone a été maintenue propre et exempte d'accumulation fécale. La question de la gestion des déchets (y compris les déchets biologiques) dans la zone densément peuplée (plusieurs milliers d'habitants auraient vécu à Bibracte entre 50 et 30 avant JC: [29]) n'a pas encore été discutée pour oppida.

Les dates au radiocarbone suggèrent que la gestion des déchets a changé au cours du 1^{er} siècle avant JC. Les sédiments des strates 2 et 4 qui ont comblé le fossé contiennent de la poterie de la période avant et après 50 avant JC mais les macrorestes végétaux (faisant partie des déchets ménagers) ne sont présents que de la période avant 50 avant JC. Si elle n'est pas causée par la stratégie d'échantillonnage, l'explication peut plutôt être que la manipulation avec des céréales du début de la période augustéenne ou légèrement plus tôt (c'est-à-dire d'environ 50 à 30 av. J.-C.), qui a finalement produit des grains carbonisés, a soit changé en relation avec la romanisation, soit pas lieu là où les sédiments des fossés se sont formés, peut-être à la suite de la réorganisation spatiale du site.

La présence du ténia *Diphyllobothrium latum*, transmis par les poissons d'eau douce, est parfois liée à la propagation des habitudes alimentaires des Romains dans l'Europe transalpine [82]. Bien que *D. latum* avait déjà eu lieu dans ce domaine avant la conquête romaine dans les découvertes néolithiques, il était considérablement moins courant pendant les âges du bronze et du fer [83 , 84]. Les changements dans la survenue de *D. latum* peut être dû au changement de la disponibilité des ressources halieutiques d'eau douce [28] ou un changement de culture alimentaire, qui se manifeste également à Bibracte entre 50 et 30 avant JC par la forte influence des types de poterie méditerranéens [85].

Conclusions

1. Le fossé a été identifié lors du levé géophysique. Aucune relique visible du terrain n'a été préservée. Le fossé a été comblé à la fin du 1^{er} siècle avant JC.
2. Lors de son utilisation, le fossé était rempli d'eau. La profondeur de l'eau atteint jusqu'à 60 cm au-dessus du fond du fossé. Les analyses de diatomées et de parasites indiquent que l'eau était relativement propre, stagnante ou se déplaçait lentement. Les analyses de pollen ont révélé qu'il y avait une couverture

végétale de prairie à proximité du fossé avec des buissons ou des arbres solitaires. La présence de micro-charbon herbacé suggère que les pentes des fossés ont été maintenues en brûlant la végétation, tandis que l'analyse parasitologique a montré que la zone voisine était presque dépourvue d'excréments. Le fossé était très probablement relié au système de fortification (rempart et fossé) de La Terrasse, et en tant que tel délimitait une zone dont la fonction pendant la durée de vie de l'oppidum de l'âge du fer reste incertaine pour l'instant.

3. Le fossé a probablement perdu sa fonction première et a été comblé entre 50 et 30 av. Le matériau utilisé pour le remblai a été transporté d'une autre région, qui avait été colonisée entre la fin du 2^e siècle avant JC et la première moitié du 1^{er} siècle avant JC. La corrélation des preuves archéologiques (poteries et métaux) et écofactuelles (graines et charbon) et les dates AMS ¹⁴ C suggère qu'il y a eu un changement dans la gestion des déchets ménagers au cours du 1^{er} siècle avant JC, démontré par l'absence de découvertes de cultures plus tard que 50 avant JC. Le fossé comblé a ensuite été envahi par la végétation herbacée et utilisé comme surface de marche. Après l'affaissement des sédiments, la dépression nouvellement formée a été de nouveau comblée avant la fin du 1^{er} siècle av. Une partie du remblai était constituée de gravats de construction, probablement liés à la construction du complexe sanctuaire / fanum à proximité à l'époque augustéenne.
4. Au Moyen Âge, une foire annuelle et un marché étaient régulièrement organisés pendant la première semaine de mai à La Chaume, y compris l'emplacement de l'ancien fossé. La présence accrue de personnes (et leurs normes d'hygiène abaissées) est évidente à partir de l'augmentation de la quantité de parasites. Le spectre des cultures différait de celui de l'âge du fer (avec des taxons typiques de la période médiévale dans la région) et le nombre et / ou la taille des champs arables à proximité augmentaient.
5. Le rôle spécifique des arbres dans la zone urbaine de l'oppidum doit être pris en compte. Des pourcentages élevés de chaux (*Tilia* sp.) Ont été détectés à plusieurs reprises dans les spectres polliniques des zones *intra muros* et en dehors de sa distribution naturelle, ce qui peut indiquer une plantation délibérée de cet arbre au Mont Beuvray.
6. Les comblements du ou des fossés étudiés à l'aide d'une approche multi-proxy représentent une source importante d'informations sur l'histoire des activités humaines à oppida, en particulier en dehors des zones bâties, ou des zones délimitant des «espaces vides» en apparence. A Bibracte, cette approche a contribué à une meilleure compréhension de la nature de la zone. Il est clair que dans la première moitié du 1^{er} siècle avant JC, au plus tard, la zone du plateau sommital délimitée par le système de fossés et de remparts était maintenue ouverte et sans structures de construction. Il était alors recouvert de prairies (*sensu stricto*, pas de champs arables) qui n'étaient pas utilisées pour le pâturage. Il est également probable qu'il y ait eu une plantation délibérée d'arbres sélectionnés. Ces résultats soutiennent une fonction socio-sacrée de la zone.

Renseignements à l'appui

Tableau S1. Bibracte / Mont Beuvray — La Chaume (fossé UF180).

Base de données du volume et du poids des pierres dans les unités analysées de la fouille en 2018 (cf. [Tableau 1](#) pour les classes de taille de pierre et [Fig 4](#) pour les couches).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231790.s001>

(XLS)

Tableau S2. Bibracte / Mont Beuvray — La Chaume (fossé UF180).

Caractéristiques de la poterie et des amphores provenant de la fouille en 2018. Pour les codes poterie / amphores, voir [[29](#) , [38](#) , [39](#)].

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231790.s002>

(XLSX)

Tableau S3. Bibracte / Mont Beuvray — La Chaume (fossé UF180).

Liste de tous les taxons de diatomées trouvés dans les échantillons X1-X28 (300 valves de diatomées ont été comptées dans chaque échantillon, le cas échéant).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231790.s003>

(XLSX)

Remerciements

Ces recherches ont été menées dans le cadre du projet archéologique à long terme mené au Mont Beuvray et coordonné par Bibracte EPCC (Centre Archéologique Européen). Nous remercions tout particulièrement Vincent Guichard, directeur du Centre, pour son soutien. Le travail de Lenka Lisá a été rendu possible grâce au soutien institutionnel de l'Institut de géologie du CAS, vvi RVO 67985831.

Références

1. Eller M, Sievers S, Wendling H, Ailier K. Zentralisierung und Urbanisierung – Manchings Entwicklung zur spätkeltischen Stadt. Dans: Sievers S, Schönfelder M, éditeurs. Die Frage der Protourbanisation in der Eisenzeit - La question de la proto-urbanisation à l'âge du Fer. Kolloquien zur Vor- und Frühgeschichte 16. Bonn: Habelt; 2012. pp. 303–318.
 2. Fichtl S. La ville celtique. Les oppida de 150 av. J.-C. à 15 ap. J.-C. Paris: Éditions Errance; 2005.
 3. Dechezleprêtre T, Dabas M, Gruel K. Cartographie magnétique automatique de l'oppidum de Boviolles (Meuse, France). *ArcheoScience. Revue d'archéométrie* 2009; supplément 33: 51–53.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
 4. Wendling H. Geophysikalische Prospektion im Oppidum von Manching. *Das archäologische Jahr au Bayern* 2009; 2008: 56-57.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
 5. Dejean S. L'extension urbaine révélée par les prospections. Dans: Poux M, éditeur. *Voyage au cœur d'une ville gauloise*. Paris: Éditions Errance; 2011. pp. 46–47.
 6. Moore T. Au-delà de l'oppida: complexes polyfocaux et sociétés de l'âge du fer tardif dans le sud de la Grande-Bretagne. *Oxford Journal of Archaeology* 2012; 31: 391–417.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
- sept.** Křivánek R, Danielisová A, Drda P. Geofyzikální průzkum oppid v Čechách = Levé géophysique d'oppida en Bohême. *Archeologické studijní materiály* 23. Praha: Archeologický ústav AV ČR, Praha, vvi; 2013.

8. Moore T. La naissance d'une capitale? Bagendon 'Oppidum' et l'impact de Rome sur la campagne britannique. Dans: Breeze D, éditeur. L'impact de Rome sur la campagne britannique: une conférence organisée par le Royal Archaeological Institute, Chester, 11-13 octobre 2013. Wetherby: Royal Archaeological Institute; 2014. pp. 26-30.
9. Fichtl S, Metzler J, Sievers S. Le rôle des sanctuaires dans le processus d'urbanisation. Dans: Guichard V, Sievers S, Urban OH. Guichard V, Sievers S, Urban OH, éditeurs. Les processus d'urbanisation à l'âge du Fer. Eisenzeitliche Urbanisierungsprozesse. Actes du colloque du 8 au 11 juin 1998. Collection Bibracte 4. Glux-en-Glenne: BIBRACTE – Centre archéologique européen; 2000. pp. 179–186.
- dix. Sievers S. Die Waffen aus dem Oppidum von Manching. Die Ausgrabungen à Manching 17. Wiesbaden: Reichert Verlag; 2010.
11. Poux M. Elargir Oppida: Modèles de villes multipolaires à la fin de la Gaule de l'âge du fer. Dans: Fernández-Götz M, Wendling H, Winger K, éditeurs. Paths to Complexity: Centralization and Urbanization in Iron Age Europe. Oxford: Oxbow Books; 2014. pp. 157-167.
12. Fernández-Götz M. Lieux centraux et construction des identités collectives dans la région Rhin moyen-Moselle. Dans: Poppa CN, Stoddard S, éditeurs. Empreintes digitales de l'âge du fer. Approches de l'identité à l'âge du fer européen. Intégrer l'Europe du Sud-Est dans le débat. Oxford: Oxbow Books; 2014. pp. 175-186.
13. Metzler J, Gaeng C, Meniel P, Darblade-Audoin MP, Gaspar N, Homan L, et al. L'Espace public du Titelberg. Dossiers d'archéologie du Centre national de recherche archéologique XVII. Luxembourg: Centre national de recherche archéologique; 2016.
14. von Nicolai C. Les 'terrains vagues' de l'âge du fer. Le cas des oppida celtiques. Archéopages 2017; 44: 6-15.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
15. Ailier K. Baubefunde und Siedlungsentwicklung der Südumgebung im Oppidum von Manching. Die Ausgrabungen dans Manching 20. Wiesbaden: Reichert Verlag; 2015.
16. Knopf T, Leicht M, Sievers S. Die großen süddeutschen Oppida Heidengraben, Manching und Kelheim. Dans: Guichard V, Sievers S, Urban OH. Guichard V, Sievers S, Urban OH, éditeurs. Les processus d'urbanisation à l'âge du Fer. Eisenzeitliche Urbanisierungsprozesse. Actes du colloque du 8 au 11 juin 1998. Collection Bibracte 4. Glux-en-Glenne: BIBRACTE – Centre archéologique européen; 2000. pp. 141-149.
17. Moore T. Au-delà des "villes" de l'âge du fer: examen des oppida comme exemples d'urbanisme à faible densité. Oxford Journal of Archaeology 2017; 36: 287–305.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
18. Salač V. 2014: Oppida et processus d'urbanisation en Europe centrale. Dans: Fernández-Götz M, Wendling H, Winger K, éditeurs. Paths to Complexity: Centralization and Urbanization in Iron Age Europe. Oxford: Oxbow Books; 2014. pp. 64–75.
19. Küster H. Vegetationsgeschichtliche Untersuchungen. Dans: Maier F, Geilenbrügge U, Hahn E, Köhler HJ, Sievers S, éditeurs. Ergebnisse der Ausgrabungen 1984–1987 à Manching. Ausgrabungen à Manching 15. Stuttgart: Franz Steiner; 1992. pp. 433–476.
20. Haselgrove C, éditeur. Capitale de Cartimandua? Le site royal de la fin de l'âge du fer à Stanwick, North Yorkshire, travail de terrain et analyse 1981-2011. Rapport de recherche de l'ABC 175. York: Conseil d'archéologie britannique; 2016.
21. Lisá L, Bajer A, Válek D, Květina P, Šumberová R. Preuve micromorphologique de remplissage de fossés de type Rondel néolithique; Études de cas de Těšetice-Kyjovice et Kolín, République tchèque. Interdisciplinaria Archaeologica 2013; 4 (2): 135-146.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
22. Lisá L, Komoróczy B, Vlach M, Válek D, Bajer A, Kovárník J, et al. Comment les fossés ont-ils été comblés? Classification sédimentologique et micromorphologique des processus de formation dans des objets archéologiques de type graben. Quaternary International 2015; 370: 66–76.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
23. Válek D, Lisá L, Doláková N, Uhlířová H, Bajer A. Nové poznatky o genezi sedimentů a artefaktuální výpovědi rondelového příkopu v Těšetických-Kyjovicíchilling (okr. Znojmo) -Kyjovice (district de Znojmo)]. Acta Musei Moraviae. Scientiae sociales 2013; 98/2: 215-238.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
24. Macphail RI, Goldberg P. Sols appliqués et micromorphologie en archéologie. Cambridge: Cambridge University Press; 2018.
25. Lisá L, Bajer A, Rejšek K, Vranová V, Vejrostová L, Wisniewski A, et al. Revue de l'origine des bandes illuviales. Que pourrait signifier la présence de bandes brun foncé dans les remplissages sableux d'objets archéologiques ou de couches culturelles? Interdisciplinaria Archaeologica. Sciences naturelles en archéologie 2019; 10 (1): 19-28.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
26. Mannion AM. Les diatomées fossiles et leur importance dans la recherche archéologique. Oxford Journal of Archaeology 2007; 6 (2): 131-147.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
27. Ognjanova-Rumenova N. Paléoenvironnement et archéologie: l'utilisation des analyses de diatomées en archéologie. Géoarchéologie et archéominéralogie. Dans: Kostov RI, Gaydarska B, Gurova M, éditeurs. Actes de la Conférence internationale, 29-30 octobre 2008 Sofia. Sofia: Maison d'édition 'St. Ivan Rilski'; 2008. pp. 291-294.
28. Flammer PG, Dellicour S, Preston SG, Rieger D, Warren S, Tan CKW, et al. L'archéoparasitologie moléculaire identifie les changements culturels dans le centre commercial hanséatique médiéval de Lübeck. Actes de la Royal Society B: Biological Sciences 2018; 285 (1888): 1–10.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
29. Dhennequin L, Guillaumet JP, Szabo M, éditeurs. L'oppidum de Bibracte (Mont-Beuvray, France). Bilan de 10 années de recherches (1996–2005). Acta Archaeologica Academiae Scientiarum Hungaricae 2008; 59, 152 p.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)

30. Guichard V, Meunier A, Paris P. Chronique des recherches sur le Mont Beuvray 2013–2016. *Revue archéologique de l'Est* 2018; 67: 151–211.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
31. César GI. *Les guerres gauloises (Comentarii de Bello Gallico)*. Traduit par Edwards HJ Loeb Classical Library 72. Cambridge, MA: Harvard University Press; 1917.
- Barrière S. Réflexions sur la fin de l'occupation de Bibracte et sa fréquentation durant le Haut et le Bas-Empire. Dans: Guichard V, éditeur. *Études sur*
32. Bibracte– 2. Collection Bibracte 24. Glux-en-Glenne: BIBRACTE – Centre archéologique européen; 2014. pp. 315–350.
33. Beck F, Saint-Jean Vitus B. *Le couvent des Cordeliers du Mont Beuvray. Histoire et archéologie*. Collection Bibracte 27. Glux-en-Glenne: BIBRACTE – Centre archéologique européen; 2018.
34. Buchsenschutz O, Guillaumet JP, Ralston I. *Les remparts de Bibracte. Recherches récentes sur la porte du Rebut et le tracé des fortifications*. Collection Bibracte 3. Glux-en-Glenne: BIBRACTE – Centre archéologique européen; 1999.
35. Beck F, Gruel K. La Terrasse: campagne de fouille 1986–1987. *Revue archéologique de l'Est et du Centre-Est* 1989; 40: 213-217.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
36. Barrière S, Hausmair B, Pertwieser T, Urban OH. Das Befestigungswerk auf dem Le Porrey in Bibracte – die Residenz des Vergobretus? Der Versuch einer kontextuellen Interpretation eines archäologischen Bodendenkmals. *Archaeologia Austriaca* 2010 (2013); 94: 111-126.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
37. Kuna M. Catégories de rejet des colonies. Dans: Kristiansen K, Šmejda L, Turek J, éditeurs. *Paradigme trouvé. Théorie archéologique. Présent, passé et futur. Essais en l'honneur d'Evžen Neustupný*. Oxford – Philadelphie: Oxbow Books; 2015. pp. 278-292.
38. Paunier D, Barral P, Luginbühl T, Paratte CA. *Système de description et de gestion du mobilier céramique (Fouilles du Mont Beuvray)*. Glux-en-Glenne: Centre archéologique européen du Mont Beuvray; 1994.
39. Paunier D, Luginbühl T. *La site de la maison du Parc aux Chevaux (PC1). Des origines de l'oppidum au règne de Tibère*. Collection Bibracte 8. Glux-en-Glenne: BIBRACTE – Centre archéologique européen; 2004.
40. Goláňová P, Wawer M, Hamm G, Prištáková M, Hajnalová M. La Chaume. Dans: Guichard V, éditeur. *Rapport intermédiaire 2017 du programme quadriennal de recherche 2017-2020 sur le mont Beuvray*. Glux-en-Glenne: BIBRACTE EPCC; 2017. pp. 61–88. Disponible sur: <https://hal.archives-ouvertes.fr/BIBRACTE/halshs-01671478v1>
41. Goláňová P, Lisá L, Flammer P, Fránková M, Hajnalová M, Kočárová R, et al. Chaume La. In: Guichard V, éditeur, *Rapport intermédiaire 2018 du programme quadriennal de recherche 2017-2020 sur le mont Beuvray*. Glux-en-Glenne: BIBRACTE EPCC; 2018. pp. 253-290. Disponible sur: <https://hal.archives-ouvertes.fr/BIBRACTE/halshs-02001397v1>
42. Hajdas I. Datation au radiocarbone et ses applications dans les études quaternaires. *Journal des sciences du quaternaire - Eiszeitalter und Gegenwart* 2008; 57 (1–2): 2–24.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
43. Bronk Ramsey C. Calibrage au radiocarbone et analyse de la stratigraphie: le programme OxCal. *Radiocarbon* 1995; 37 (2): 425–430.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
44. Reimer PJ, Bard E, Bayliss A, Beck JW, Blackwell PG, Bronk Ramsey C, et al. Courbes d'étalonnage de l'âge du radiocarbone IntCal13 et Marine13 0–50 000 ans cal BP. *Radiocarbon* 2013; 55 (4): 1869–1887.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
45. Stoops G. *Directives pour l'analyse et la description des sections minces du sol et du régoilith*. Madison, Wisconsin: Société américaine des sciences du sol; 2003.
46. Stoops G, Marcelino V, Mees F. *Interprétation des caractéristiques micromorphologiques des sols et des régoilithes*. Amsterdam: Elsevier; 2010.
47. Nicosia C, Stoops G, éditeurs. *Micromorphologie archéologique des sols et des sédiments*. Chichester: Wiley-Blackwell; 2017.
- Hajnalová M. Études archéobotaniques. Dans: Guichard V, éditeur. *Rapport intermédiaire 2018 du programme quadriennal de recherche 2017-2020 sur le Mont-Beuvray. Référentiel malade*. 1.2. Glux-en-Glenne: BIBRACTE EPCC; 2018, pp. 128-127.
48. Moore PD, Webb JA, Collingson ME. *Analyse du pollen*. 2e édition. Oxford: Blackwell; 1991.
49. Beug HJ. *Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete*. Munich: Verlag Dr. Fridrich Pfeil; 2004.
50. Juggins S, Cameron NG. Diatomées et archéologie. Dans: Smol JP, Stoermer EF, éditeurs. *Les diatomées. Applications pour les sciences de l'environnement et de la terre*. Cambridge: Cambridge University Press (deuxième édition); 2012. pp 514-522.
51. Schoellammer P, Geith-Chauviere I, Akeret O, Coop GR, Liniger C, Straub F, et al. Le puit laténien St-130. Dans: Anastasiu R, Langenegger F, éditeurs. *Cortailod / Petit-Ruz: impacts humains et évolution d'un terroir, du Néolithique à l'époque gallo-romaine, sur un kilomètre d'autoroute*. Archéologie neuchâteloise 2010; 46: Cédérom annexé, études spécialisées 3.7.
52. Straub F. Annexe A2-6. Utilisation conjointe des diatomées et autres microfossiles en archéologie terrestre: méthodes et exemples. Dans: Elmer C, Thew N, Von Burg A, Kraese J, éditeurs. *Delta de l'Areuse. Les méandres du delta de l'Areuse au cours de l'Holocène: une histoire humaine et environnementale*. Archéologie neuchâteloise numérique 2016; 8: 1–32.
53. Beneš J, Kaštovský J, Kočárová R, Kočár P, Kubečková K, Pokorný P, et al. Archéobotanique du système de défense de la vieille ville de Prague, République tchèque: archéologie, macro-restes, pollen et diatomées. *Histoire de la végétation et archéobotanique* 2002; 11 (1): 107-119.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)

55. Taylor JC, Harding WR, Archibald CGM. Un manuel de méthodes pour la collecte, la préparation et l'analyse des échantillons de diatomées version 1.0. Rapport WRC TT 2007; 281/07. Disponible sur <http://docs.niwa.co.nz/library/public/1770054839.pdf>
56. Cantonati M, Kelly MG, Lange-Bertalot H, éditeurs. Diatomées benthiques d'eau douce d'Europe centrale: plus de 800 espèces communes utilisées dans l'évaluation écologique. Oberreifenberg: livres botaniques Koeltz; 2017.
57. Hrabánková A, Datel JV, Hubáčková J, Hodinářová Z. et al. Metodika pro hodnocení stavu chráněných území podzemní a povrchové vody vymezených podle čl. 7 Rámcové směrnice o vodě. 2000/60 / ES = Rapports d'évaluation et de référence de la surveillance de l'eau. Výzkumný ústav vodohospodářský TG Masaryka; 2014. Disponible sur: https://www.mzp.cz/cz/pozemni_povrchova_voda_metodika_hodnoceni
58. Van Dam H, Mertens A, Sinkeldam J. Une liste de contrôle codée et les valeurs des indicateurs écologiques des diatomées d'eau douce des Pays-Bas. Journal néerlandais d'écologie aquatique 1994; 28: 117-133.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
59. Kuna M, Němcová A. Výpověď sídlištního odpadu. Nález z pozdní doby bronzové contre Roztokách a otázky depoziční analýzy archeologického kontextu = La preuve du rejet des colonies. Découvertes de l'âge du bronze final à Roztoky et analyse de dépôt du contexte archéologique. Praha: Archeologický ústav AV ČR Praha; 2012.
60. Ernée M. Praveké kulturní souvrství jako archeologický pramen = Urgeschichtliche Kulturschicht als archäologische Quelle. Památky archeologické, Supplementum 20. Praha: Archeologický ústav AV ČR; 2008.
61. Wiethold J. Vestiges de plantes du Celtique tardif et du début de l'époque romaine de l'oppidum de Bibracte, Mont Beuvray (Bourgogne, France). Histoire de la végétation et archéobotanique 1996; 5 (1–2): 105–116.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
62. Wiethold J. Sieben Jahre archäobotanische Analysen im Oppidum von Bibracte. Untersuchungen zur Landwirtschaft und Nahrungsmittelversorgung in der Spätlatènezeit und in frühromischer Zeit. Dans: Guichard V, Sievers S, Urban OH, éditeurs. Les processus d'urbanisation à l'âge du Fer. Eisenzeitliche Urbanisierungsprozesse. Actes du colloque du 8 au 11 juin 1998. Collection Bibracte 4. Glux-en-Glenne: BIBRACTE – Centre archéologique européen; 2000. pp. 203-209.
63. Wiethold J. Bibracte, Nièvre et Saône-et-Loire. Les recherches carpologiques depuis 1989. Agriculture et alimentation végétale du second Age du fer, du début de l'époque gallo-romaine et du Moyen Age. Dans: Wiethold J, éditeur. Carpologia — Articles réunis à la mémoire de Karen Lundström-Baudais. Collection Bibracte 20. Glux-en-Glenne: BIBRACTE – Centre archéologique européen; 2011. pp. 221–254.
64. Bellavia V. Archéobotanique: charbon de bois. Dans: Guichard V, éditeur. Rapport intermédiaire 2015 du programme quadriennal de recherche 2013-2016 sur le mont Beuvray. Glux-en-Glenne: BIBRACTE EPPC; 2015. pp. 365–368. Disponible sur: <https://hal.archives-ouvertes.fr/BIBRACTE/halshs-01437338v1>
65. Jouffroy-Bapicot I, Vannière B, Gauthier É, Richard H, Monna F, Petit C. 7000 ans d'histoire de la végétation et des changements d'occupation des sols dans le Morvan. L'Holocène 2013; 23: 1888-1902.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
66. Fránková M, Šumberová K, Potužák J, Vild O. Le rôle du type de substrat végétal dans la formation de la composition et de la diversité des assemblages de diatomées épiphytes dans un réservoir eutrophique. Limnologie fondamentale et appliquée 2017; 189: 117-135.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
67. Aspöck H, Auer H, Picher O, Stöllner T. Parasitologische Untersuchungen von im Salz konservierten Exkrementen: Zur Gesundheit der Dürrenberger Bergleute. Dans: Dobiat C, Sievers S, Stöllner T, éditeurs. Dürrenberg und Manching. Wirtschaftsarchäologie im ostkeltischen Raum. Kolloquien zur Vor- und Frühgeschichte 7. Bonn: Dr. Rudolf Habelt GmbH; 2002. pp. 123–132.
68. Šíroký R, Kočár P, Hlaváč J, Kaštovská K, Kostrouch F, Kyncl J, et al. Příkop středověkého opevnění města Plzně. Archeologický a environmentální výzkum v prostoru zaniklé Pražské brány = Le fossé de la ville médiévale de Plzeň (Pilsen). Recherche archéologique et environnementale dans la zone de la porte de Prague. Forum Urbes Medii Eavi V. Brno: Archaia, ops; 2008. pp. 272–311.
69. Nováková J, Pouličková A. Flore de diatomées de mousse (Bacillariophyceae) de la réserve naturelle Adršpaško-Teplické Rocks (République tchèque). Phycologie tchèque 2004; 4: 75–86.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
70. Beck F, Brunaux JL, Gruel K, Enault JF. Mont Beuvray: Fouilles de la chapelle (1984–1985). Revue archéologique de l'Est et du Centre-Est 1988; XXXIX: 107-127.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
71. Kielb Zaaroui M, Ronco C, Gagnol M, Feugère M, Buffat L. Les camps militaires tardo-républicains de Lautagne (Valence, Drôme). Dans: Reddé M, éditeur. L'armée romaine en Gaule à l'époque républicaine. Nouveaux témoignages archéologiques. Collection Bibracte 28. Glux-en-Glenne: BIBRACTE – Centre archéologique européen; 2018. pp. 45–72.
72. Fischer T. Die Armee der Caesaren. Archäologie und Geschichte. Ratisbonne: Friedrich Pustet Verlag; 2012.
73. Bayard D. L'occupation des oppida gaulois par l'armée romaine à la fin de la République. L'exemple du camp César de la Chaussée-Tirancourt (80). Dans: Reddé M, éditeur. Les armées romaines en Gaule à l'époque républicaine. Nouveaux témoignages archéologiques. Collection Bibracte 28. Glux-en-Glenne: BIBRACTE – Centre archéologique européen; 2018. pp. 155-178.
74. Metzler J, Gaeng C, Méniel P, Gaspar N, Homan L, Tretola Martinez DC. Dans: Reddé M, éditeur. Les armées romaines en Gaule à l'époque républicaine. Nouveaux témoignages archéologiques. Collection Bibracte 28. Glux-en-Glenne: BIBRACTE – Centre archéologique européen; 2018. pp. 179–205.

- Pernet L, Poux M, Teegen WR, Flouest JL, Guillaumet JP, Meylan F. Militaria gaulois et romains sur l'oppidum de Bibracte, Mont Beuvray (Nièvre). Dans: Poux M, éditeur. Sur les tarces de César. Militaria tardo-républicains en contexte gaulois. Collection Bibracte 14. Glux-en-Glenne: BIBRACTE – Centre archéologique européen; 2008. pp. 103-139.
75. Debord J, Lambot B, Buchsenschutz O. Les fossés couverts du site gaulois tardif de Villeneuve-Saint-Germain (Aisne). Dans: Audouze F, Buchsenschutz O, éditeurs. Architecture des Ages des métaux. Fouilles récentes. Dossiers de protohistoire 2. Paris: Éditions Errance; 1989. pp. 121-135.
77. Gruel K, Vitali D, éditeurs. L'oppidum de Bibracte. Un bilan de onze années de recherche (1984–1995). Gallia 1998; 55: 1–140.
78. Demierre M, Bataille G, Perruche R. Faciès mobiliers et espaces rituels. Les ensembles des sanctuaires laténiens du I^{er} au I^{er} siècle av. J.-C. Dans: Barral P, Thivet M, éditeurs. Sanctuaires de l'âge du Fer. Actualités de la recherche en Europe celtique occidentale. Actes du 41^e colloque international de l'AFEAF (Dole, 25-27 mai 2017). Collection Afeaf 1. Paris: Association française pour l'étude de l'âge du fer; 2018. pp. 331–342.
79. Golosetti R, Méniel P, Olmer F, Girard B, de Cazanove O. De l'enclos laténien au sanctuaire julio-claudien. Apollon Moritasgus à Alésia, hiatus et superspositions. Dans: Barral P, Thivet M, éditeurs. Sanctuaires de l'âge du Fer. Actualités de la recherche en Europe celtique occidentale. Actes du 41^e colloque international de l'AFEAF (Dole, 25-27 mai 2017). Collection Afeaf 1. Paris: Association française pour l'étude de l'âge du fer; 2018. pp. 423–449.
80. Richard H. Analyses palynologiques sur le site et aux alentours. Dans: Buchsenschutz O, Richard H, éditeurs. L'environnement du Mont Beuvray. Collection Bibracte 1. Glux-en-Glenne: BIBRACTE – Centre archéologique européen; 1996. pp. 89–98.
81. Feeser I, Dörfler W. L'effet de clairière: Ouverture et structure de la végétation et leurs influences sur la production de pollen arboricole et la reconstruction de l'ouverture forestière anthropique. Anthropocène 2014; 8: 92-100.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
82. Mitchell PD. Les parasites humains dans les mondes romains: conséquences pour la santé de la conquête d'un empire. Parasitologie 2017; 144 (Numéro spécial 1): 48–58.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
83. Le Bailly M, Bouchet F. Diphyllbothrium dans le passé: revue et nouveaux records. Journal international de paléopathologie 2013; 3: 182–187. pmid: 29539453
[Voir l'article](#) • [PubMed / NCBI](#) • [Google Scholar](#)
84. Maicher C, Sana M, Palomo A, Bleicher N, Le Bailly M. La gestion des déchets sur les sites de zones humides: contribution de la paléoparasitologie sur les sites de La Draga (Espagne) et de Zurich-Parkhaus Opéra (Suisse). Dans: Zones humides et Archéologie. Actes VI^e Colloque international du Groupe d'Histoire des Zones Humides. Revue scientifique Bourgogne-Franche-Comté Nature 2019; Hors-série 16: 161-170.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
85. Barrière S. Romanisation en Gaule: nouvelles approches méthodologiques pour l'étude des marchandises fines gauloises (200 avant JC-50 après JC). Journal d'archéologie romaine théorique; 2012: 151-168. http://doi.org/10.16995/TRAC2012_151_168
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)