

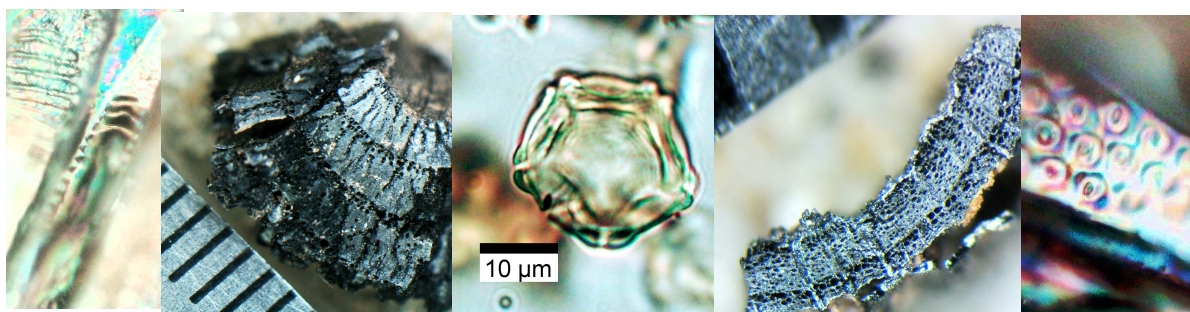


BILAN DES RÉSULTATS ANTHRACOLOGIQUES ET PALYNOLOGIQUES ACQUIS LORS DES OPÉRATIONS DES SITES PROTOHISTORIQUES DE GREVENMACHER (LUXEMBOURG) ENTRE 2022 ET 2024.

BILAN DES RÉSULTATS ANTHRACOLOGIQUES ET PALYNOLOGIQUES.

OPÉRATIONS DE :

- GRANZEGEBUR : 2022.067 (ANTHRACOLOGIE ET PALYNOLOGIE)
- POTASCHBERG : 2023.048 (ANTHRACOLOGIE)
- BUERGGRUEF : 2024.139 (ANTHRACOLOGIE)



INRA

SERVICE D'ARCHÉOLOGIE PROTOHISTORIQUE

Synthèse archéobotanique

Septembre 2025

Institut National de Recherches Archéologiques

Service d'archéologie protohistorique

Bilan des résultats anthracologiques et palynologiques acquis lors des opérations des sites protohistoriques de Grevenmacher (Luxembourg) entre 2022 et 2024.

Loïc GAUDIN

Chargé de cours à l'Université de Rennes 1

E-mail : loic.gaudin@arkeomap.com

Site web : arkeomap.com

Septembre 2025

SOMMAIRE

1 État de l'art sur le paléoenvironnement végétal protohistorique dans l'est du Luxembourg.....	4
2 Rappels sur les potentialités et limites de l'anthracologie et de la palynologie.....	7
3 Descriptions des résultats en présence, par période et par site.....	11
3.1 Contextes et principaux résultats des trois études anthracologiques des sites de Granzegebur, Potaschberg et de Buergruef (commune de Grevenmacher).....	11
3.1.1 Description des prélèvements de la période «Hallstat C/Hallstat D1».....	11
3.1.2 Description des prélèvements de la période «Hallstat D/La Tène A».....	12
3.1.3 Description des prélèvements de la période « La Tène B/La Tène C».....	12
3.1.4 Description des prélèvements de la période « La Tène C ».....	12
3.2 L'étude pollinique (tests) de la zone humide située à proximité immédiate de l'occupation protohistorique de Granzegebur.	13
3.2.1 Prélèvements, extraction et méthode d'observation	13
3.2.2 Résultats des tests.....	14
3.2.3 Interprétations des résultats obtenus.....	16
3.3 Description paléoenvironnementale. Mise en perspective diachronique des principaux traits paysagers.....	18
3.4 Informations d'ordre ethnographique. Interprétations techniques de la gestion du combustible.....	24
3.4.1 Comparaison des résultats en fonction des différentes périodes : interprétations techniques.....	25
3.4.2 Hypothèses de rejets charbonneux en lien avec des activités de traitements des céréales. Comparaison des résultats anthracologiques en fonction de la présence ou pas de graines associées aux charbons.....	28
4 Bibliographie.....	33

1 État de l'art sur le paléoenvironnement végétal protohistorique dans l'est du Luxembourg.

Peu d'études archéobotaniques datées de la Protohistoire ont été identifiées sur la commune ou à proximité immédiate de Grevenmacher. L'inventaire réalisé en 2018 (Gaudin, 2019a) permet d'identifier cinq études palynologiques situées au nord de la commune de Grevenmacher (Mertert, Couteau 1970 ; Berdorf – mardelle de Berdorf, Van Mourik 2016 ; Echternach, Guiot *et al.*, 1992 ; Berdorf - marais de Dauwelsmuer, Schweininger 1989 ; Waldbillig - grotte diacalse de la Karelslé, Gaudin 2017) et une étude pollinique à l'est de la commune (étude de Rodenbourg – Bretzboesh, Couteau 1969) (Fig. 1 et 2).

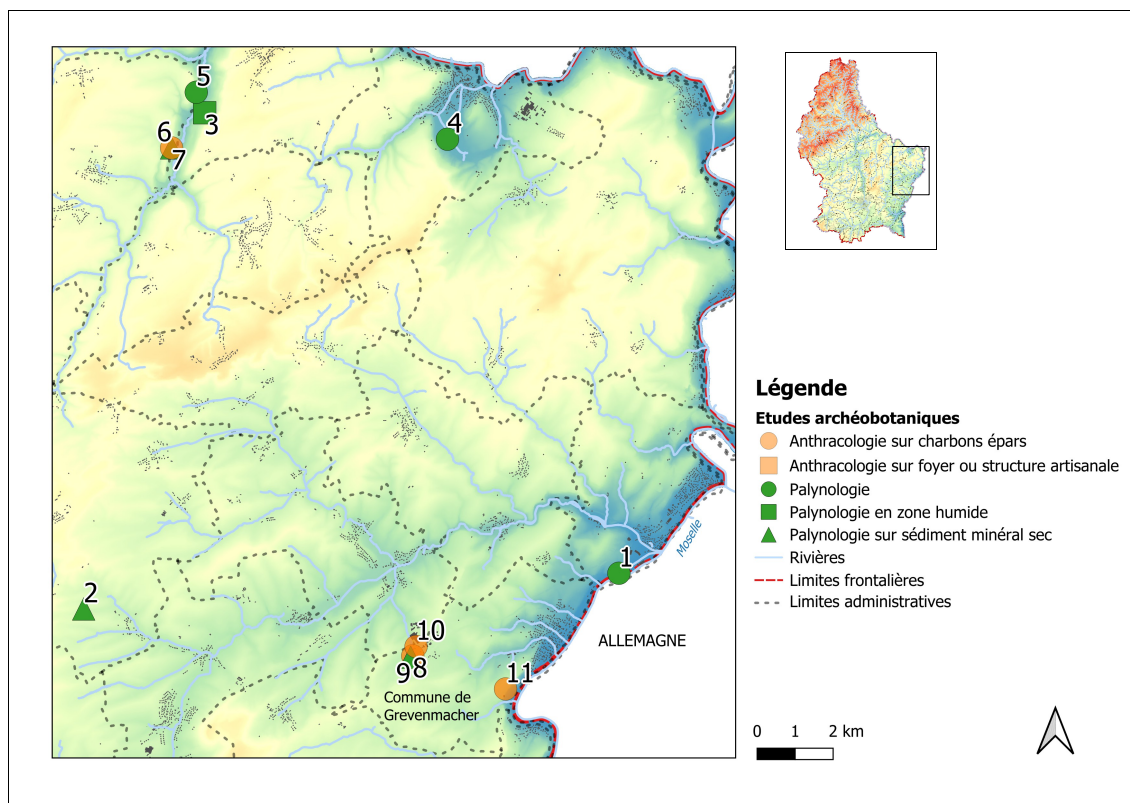


Fig. 1 Carte de répartition des études archéobotaniques recoupant des niveaux protohistoriques dans l'ouest du Luxembourg (commune de Grevenmacher).

Id. étude	Année de réalisation	Nom de site	Type d'analyse	Ref. biblio. rapports	Attribution chronologique Etudes recoupant la Protohistoire
1	1970	Mertert	Palynologie	Couteau, 1970	Antiquité ?
2	1969	Rodenbourg, Bretzboesch	Palynologie	Couteau, 1969	Antiquité ?
3	2016	Berdorf – mardelle de Berdorf	Palynologie	Van Mourik, 2016	Moyen-Age ?
4	1992	Echternach	Palynologie	Guiot et al., 1992	Protohistorique
5	1989	Berdorf – marais de Dauwelsmuer	Palynologie	Schwenninger 1989	Protohistorique ?
6	2017	Waldbillig : grotte diacalse de la Karelslé	Palynologie	Gaudin, 2019b ; Gaudin, 2021	Protohistorique
7	2001	Waldbillig : grotte diacalse de la Karelslé	Anthracologie	Pernaud, 2001	Protohistorique
8	2024	Grevenmacher – Granzegebur	Anthracologie	Gaudin, 2024a	Protohistorique
9	2025	Grevenmacher – Granzegebur	Palynologie	Gaudin, 2025a	Protohistorique
10	2024	Grevenmacher - Potaschberg	Anthracologie	Gaudin, 2024b	Protohistorique
11	2025	Grevenmacher – Buergruef	Anthracologie	Gaudin, 2025b	Protohistorique

Fig. 2 Inventaire des études archéobotaniques (anthracologie et palynologie) dans l'ouest du Luxembourg, recoupant des niveaux protohistoriques.

Les deux analyses polliniques réalisées par Couteau en 1969 et en 1970 sont difficilement exploitables à cause du manque de repères chronologiques fiables.

L'analyse pollinique menée par Couteau (1970) au niveau du port fluvial de Mertert constitue l'étude la plus proche géographiquement de la commune de Grevenmacher. L'auteur y distingue plusieurs niveaux attribués au Subatlantique. Il décrit notamment des paysages relativement ouverts (plus de 50 % d'herbacées), probablement en lien avec le contexte alluvial. La présence de pollens de céréales est attestée, tandis que la détection de pollens de noyer suggère une attribution chronologique contemporaine ou postérieure à l'Antiquité.

Une autre analyse pollinique, réalisée par Couteau (1969) dans une mardelle du site de Rodenbourg-Bretzboesch, met également en évidence des formations végétales subatlantiques. Là encore, des pollens de noyer apparaissent relativement tôt dans la séquence datant probablement le début de la séquence à l'Antiquité. Le paysage perçu est encore majoritairement forestier, dominé par la chênaie-hêtraie. Quelques occurrences de pollens de céréales sont à noter. Toutefois, là encore, l'absence de datations absolues réalisées directement sur ces niveaux empêche d'interpréter pleinement ces résultats.

Entre 1963 et 1965, une série de quatre sondages a été entreprise dans un ancien méandre de la Sûre formant la séquence pollinique d'Echternach-« Letschen ». C'est actuellement encore une séquence de référence. Elle recouvre le Tardiglaciaire et l'ensemble des périodes de l'Holocène. Cette séquence a fait l'objet de modélisations climatiques (Guiot et Couteau, 1992) et d'un diagramme synthétique (Leesch *et al.* 2017). La période Protohistorique (fin du Subboréal – tout début du Subatlantique) est caractérisée par des taux de pollens d'arbres encore importants (environ 50%, avec toutefois des forts taux d'aulne et de noisetier, essences hygrophiles et probablement locales au fond de vallée). Le couvert forestier est composé majoritairement de noisetier, chêne, tilleul et hêtre. Quelques rares pollens de céréale ont été détectés dans les niveaux attribués à la période « Atlantique récent » (env. 4600 – 3750 BC). En revanche, ces pollens de céréales n'apparaissent plus ensuite durant les niveaux correspondant à la période Protohistorique.

Plusieurs analyses polliniques ont également été menées sur les versants et les plateaux bordant la vallée de l'Ernz noire.

Une première étude a été réalisée en 1989 par Schwenninger dans le marais de Dauwelsmuer (Berdorf). L'auteur s'est appuyé sur l'évolution de la composition pollinique, ainsi que sur la comparaison avec d'autres séquences régionales, pour proposer une datation. Les niveaux attribués à la Protohistoire (zones locales d'assemblages polliniques DW4 et DW5) se caractérisent par une dominance du chêne, du noisetier, du tilleul et du hêtre (*Corylus-Tilia-Quercus-Fagus*). On observe notamment un déclin progressif du noisetier et du tilleul au profit du hêtre, qui apparaît en fin de période. Le paysage reste globalement dominé par les taxons arborés (plus de 50 % du spectre pollinique). Aucun pollen de céréale n'a toutefois été identifié pour cette phase. En l'absence de datations radiocarbone directement effectuées sur la colonne, ces résultats doivent cependant être interprétés avec prudence.

Sur la même commune de Berdorf, une mardelle située sur le plateau oriental de la vallée a fait l'objet d'une analyse palynologique par R.T. Slotboom et J.M. van Mourik (Van Mourik, 2016). Le diagramme pollinique révèle un paysage fortement boisé, à l'exception de sa base. Des pollens de céréales y sont détectés de manière continue. La séquence a été datée sur la base de la reconnaissance des assemblages polliniques, notamment la zone « F3 », marquée par des taux élevés

de hêtre et de charme, attribuée aux environs de 1200–1300 apr. J.-C. La base du diagramme ne semble donc pas antérieure à l'Antiquité voire au Moyen Âge...

D'autres études ont été réalisées notamment à l'occasion d'une opération archéologique menée à l'intérieur de la grotte diacalse de la Kareslé, située sur la rive gauche de l'Ernz noire, sur la commune de Waldillig (Le Brun-Ricalens 1993 ; Le Brun-Ricalens et Valotteau 2007). Le comblement sédimentaire pourtant à dominante minérale permet d'enregistrer des pollens accumulés depuis probablement le Préboréal ainsi que de nombreux charbons. J. Heim réalisa plusieurs séries d'analyses en 1992, qui livrèrent des résultats assez diversifiés. Une grande partie des résultats correspond à des niveaux holocènes allant du Néolithique moyen au Moyen Âge. Ces analyses ont fait l'objet d'une synthèse (Gaudin, 2019b) puis de nouveaux prélèvements visant à obtenir une séquence depuis le Préboréal (Gaudin, 2021). J.-M. Pernaud réalisa une étude anthracologique des charbons associés à des couches datées du Préboréal, Atlantique récent et au Subboréal récent (Bronze final) (Pernaud, 2001).

En ce qui concerne plus précisément les niveaux protohistoriques, ce sont les analyses de deux coupes stratigraphiques (colonnes 1 et 2) qui montrent le plus de détails (Gaudin, 2019b). Des couches archéologiques ont pu être attribuées respectivement au Bronze final (IIb – IIIa) (couches 15 et 16) et à l'Age du fer (Hallstatt / début de La Tène) (couches 11 à 13) grâce à du mobilier archéologique et des datations radiocarbone.

Les spectres polliniques correspondant à la fin du Subboréal (Bronze final) montrent des taux de pollens d'arbres assez élevés avant d'amorcer une baisse en fin de période. C'est probablement la chênaie diversifiée (noisetier, tilleul, orme et chêne) qui domine les boisements régionaux. L'aulne est très présent en fond de vallée. Les végétations « anthropiques » : friches et jachères, prairies pâturées (plantain) et cultures (taux de pollens de céréales enregistrés en continu) sont très présents dans les spectres. Il faut toutefois relativiser ces résultats au regard du contexte des prélèvements lié à l'occupation des lieux et aux activités humaines au sein même de la grotte.

Les résultats anthracologiques (Pernaud, 2001) complètent l'image des végétations forestières, montrant notamment l'emploi de bois de chêne, de noisetier, de tilleul, mais aussi de bois d'if, d'érable et de frêne. Des fragments de hêtre sont aussi détectés annonçant la transition vers la période Subatlantique.

Le début du Subatlantique (Age du fer) est marquée par l'apparition du charme et des taux de pollens de hêtre en continu. On constate une légère baisse des taux de pollens d'arbres, indice probable d'une ouverture paysagère. La chênaie diversifiée et la chênaie-hêtraie semblent désormais coexister.

Les compositions polliniques de cette période montrent aussi l'existence de cultures de céréales, de formations de friches, jachères, prairies et de landes.

La détection des végétations de landes (callune) au cours de l'Age du Fer est à souligner. Suivant une dynamique végétale bien connue (Marguerie, 1992; Gaudin 2004), l'apparition puis le développement des végétations de landes sont très souvent la conséquence de défrichements précoces suivis de sur-exploitations agricoles (pastoralisme, cultures...) entraînant une dégradation générale des sols. Les déprises agricoles qui s'en suivent ont probablement donné lieu à des recolonisations végétales sous forme de formations de landes et landes-fourrés dans les environs du site.

Toutefois, là encore, compte tenu du contexte des prélèvements particuliers en grotte, il est difficile d'extrapoler ces résultats à des échelles régionales.

2 Rappels sur les potentialités et limites de l'anthracologie et de la palynologie.

Ce document vise à faire la synthèse des études anthracologiques et palynologiques effectués depuis 2024 lors de trois opérations archéologiques de Grevenmacher. Plusieurs de ces types d'analyses archéobotaniques ont aussi été inventoriées dans l'est du Luxembourg (Fig. 1 et 2).

Les informations apportées vont être différentes d'une technique à l'autre (Fig. 3). Leur fiabilité (ex. niveau de détermination taxonomique, les éventuelles conservations différentielles), leur portée paléoenvironnementale (aire de ramassage du bois, zone de diffusion pollinique,...), les informations d'ordre ethnographique dépendront pour beaucoup des types de vestiges étudiés (ex. combustible d'origine domestique ou pas, restes de bois d'œuvre, d'outils, d'aliments,...) mais aussi des processus de fossilisation (combustions plus ou moins intenses, vitesse de sédimentation) ainsi que du contexte ayant permis la conservation des restes (ex. comblements offrant des contextes anaérobies plus ou moins constant).

Afin de mieux appréhender les résultats des différentes études, il nous a semblé bon de faire un rappel méthodologique des deux techniques :

- Palynologie :

Pour être considérée comme crédible, une analyse palynologique doit pouvoir répondre à plusieurs critères. Tout d'abord en ce qui concerne la représentativité statistique, un minimum de 200 à 300 grains de pollens observés pour une vingtaine de taxons distincts doivent être atteints (Boulen et Court-Picon, 2018 ; Rull, 1987, Leroyer, 1997 ; Gaudin, 2004). Selon Reille (1990), au delà de 300 grains on ne gagne plus d'information. Cependant, si un taxon est prédominant on peut être amené à observer davantage de pollens, jusqu'à 500 grains (Lézine, 2009 ; Boulen 2018). A ces deux conditions, il faut aussi obtenir une concentration pollinique suffisante. Cette valeur peut être obtenue par la méthode de Stockmarr (Stockmarr, 1972) qui consiste à compter des spores de Lycopodes exotiques, ajoutés lors de l'extraction. Selon Hall (Hall, 1981) il faut au moins 2500 grains de pollen /mL de sédiment sec pour que la concentration soit jugée suffisante. Il faut aussi veiller à un « bon » état de conservation de l'ensemble des pollens. Ces deux critères sont notamment pris en compte pour la validation des tests. En effet, une surreprésentation d'un taxon résistant à la corrosion (ex. pollens de Cichorioïdée) est un indice de dégradation de la composition pollinique, lié par exemple à des contextes aérobies (même partiel) propice à l'oxydation biologique (respiration microbienne) ou physico-chimique (Havinga 1964, 1984). Dans la partie nord de la France et au Luxembourg, ce sont surtout les contextes anaérobies, souvent des zones humides, qui offrent les meilleures conditions de conservation (ex. tourbières, zones alluviales, mardelles). Mais certains contextes archéologiques comme des fonds de puits, latrines, fonds de fossés ou bassins fournissent parfois aussi des conditions favorables. Toutefois, dans ces cas les résultats doivent être interprétés en tenant compte des déformations possibles liées à des conservations différentielles (ex. si les taxons résistants sont surreprésentés) mais aussi aux apports et modes de diffusion autre que la diffusion anémophile (ex. apports par ruissellement, amendements, fourrages, rejets alimentaires).

Le test palynologique situé à proximité du site protohistorique de Grevenmacher – Granzegebur (opération 2022.067) a été réalisé dans un contexte de zone humide (comblement d'une petite vallée) qui semblait correspondre pleinement à un contexte favorable à la préservation pollinique. Toutefois, d'autres paramètres tels que l'exposition aux ruissellements, la direction des vents dominants, la proximité

des végétations passées, la vitesse de sédimentation jouant sur le temps de contact entre la pluie pollinique et la surface de dépôt, vont grandement influencer les résultats.

Dans le cadre des tests palynologiques de Grevenmacher, les pollens sont apparus bien conservés mais en très faibles concentrations, ne permettant pas d'atteindre les concentrations et diversités polliniques requises pour valider les tests. Il est probable qu'une sédimentation rapide de la zone humide ait réduit le temps de déposition pollinique, empêchant ainsi une concentration suffisante des pollens. (chapitre 3.2).

– l'anthracologie :

Les charbons analysés ont tous été recueillis en contexte archéologique. De façon générale ce sont des restes de combustibles liés à des activités domestiques, voire par certains aspects, d'activités « artisanales ». Quelques restes issus d'incendies (poteaux, bois d'œuvre, clayonnages) ne sont pas à exclure. Environ 150 prélèvements (dont 130 pour le seul site de Granzegebur) provenant des comblements de diverses structures (trous de poteau, silos, fosses) et plus de 1750 fragments ont été étudiés sur les trois opérations de Grevenmacher (Fig. 4).

Leur étude donne des résultats mêlant à la fois des informations d'ordre naturel (types de boisements, évolution de la végétation) mais aussi ethnographiques (gestion et choix des combustibles en fonction des essences, calibres, bois sec ou vert).

Les résultats dépendent pour une part du type de prélèvement. En effet, l'étude d'une « concentration charbonneuse » (ex. foyer, rejets de combustion) fournit des informations correspondant plutôt à un ramassage limité dans l'espace et dans le temps. Alors que l'étude de « charbons épars », méthode impliquant des prélèvements répartis de façon régulière ou aléatoire sur toute l'emprise d'une fouille, donne des informations correspondant à une durée plus longue (potentiellement toute la durée d'occupation du site) et correspondant à une aire de ramassage plus vaste autour du site (Chabal *et al.*, 1999). Ce type de prélèvement est à privilégier dans l'optique de restitutions paléoenvironnementales, il livre aussi des résultats avec davantage de diversité taxonomique. Les prélèvements de « concentrations de charbons » (ex. combustible d'un four ou d'un foyer) seront moins pertinents sur le plan paléoenvironnemental. En revanche ces prélèvements peuvent avoir un intérêt sur le plan ethnographique, notamment lorsque les prélèvements sont directement associés à des structures artisanales (ex. foyers de potier, rejets associés à des graines carbonisées). Car leur étude peut potentiellement apporter des informations sur le type de combustion recherché dans le cadre d'une chaîne opératoire (ex. la combustion en four engendre des phénomènes de vitrification et les choix du type de combustible : essences, calibre, aspect des charbons, bois brûlés à l'état sec ou vert).

Pour les différentes opérations de Grevenmacher et notamment le site de Granzegebur, le très grand nombre de prélèvements (plus de 150) associés à différentes structures (ex. trous de poteau, fosses, silos) s'apparente au final à une stratégie de prélèvements de type « éparse ». Cette stratégie offre potentiellement des résultats prometteurs sur le plan paléoenvironnemental. Les prélèvements « en vrac » suivis de tamisages par flottation (mailles adéquates de 4 à 2 mm en général) ont été privilégiés.

En ce qui concerne les déterminations anthracologiques, de façon générale les familles des ligneux carbonisés se déterminent à coup sûr (exception faite parfois de certains résineux). Toutefois, il est délicat, voire impossible, de distinguer

certaines espèces. Les variations biotopiques au sein d'une même espèce sont souvent plus importantes que les différences interspécifiques au sein du genre, d'où par exemple le taxon anthracologique « *Quercus sp.* » pour désigner les chênes à feuillage caduc, ou le taxon Pomoïdée (ou Maloïdée) pour désigner les essences telles que l'aubépine, le poirier/pommier, ou l'alisier. Notons aussi le taxon anthracologique « *Quercus / Castanea* » désignant aussi bien le chêne que le châtaignier pour les petits fragments ne permettant pas de les distinguer.

Connaissant la phytosociologie et l'autoécologie des essences reconnues (Rameau *et al.*, 1989), il est ensuite possible de décrire les boisements explorés.

En plus des déterminations, l'anthracologie intègre aussi de nombreuses observations et mesures permettant de qualifier l'origine des bois brûlés :

Les mesures dendrologiques (largeurs de cernes, rythme de croissance, courbure des cernes) vont permettre d'estimer le calibre du bois brûlés et d'obtenir des informations sur le contexte de croissance des arbres (contextes de croissance favorables ex. bois clairs ou défavorables ex. forêts denses) (Marguerie *et al.*, 2010 ; Marguerie, Hunot 2007).

L'observation d'hyphes de champignons, de galeries d'insectes xylophages, de fentes de retrait permettent de connaître l'état dans lequel le bois a été ramassé (bois vert, bois sec, stocké ou pas) (Marguerie *et al.*, 2010).

L'observation de thylles, de la moelle, de l'écorce en plus de mesures de calibration (estimations des diamètres des bois à partir de calculs trigonométriques basés sur des mesures d'angles entre des rayons observés sur les charbons) permettent d'estimer la position des fragments dans le bois ainsi que les rayons minimum des bois brûlés (Marguerie *et al.*, 2010 ; Dufraisse *et al.*, 2011 ; Marcoux 2009 ; Paradis S., 2007).

L'aspect des charbons peut apporter des informations sur le type de combustion. Pour saisir cette information, D. Marguerie et J.-Y. Hunot (2007) ont créé une classification du « degré de vitrification ». J.-C. Oilic (2011) réutilisa cette classification en vue d'associer les aspects des charbons à des types d'usages (expérimentations de paléométallurgie, de charbonnages...). Des conditions anaérobies et de fortes températures favoriseraient le phénomène (Blaizot *et al.*, 2004). Toutefois, la « vitrification » reste un phénomène complexe, dépendant à la fois de la nature du combustible (bois vert ou sec, calibre, essence) et de son contexte de combustion (température, degré d'oxygénation) (Théry-Parisot, 2001).

Les résultats des études anthracologiques se concrétisent en général par des comptages de fragments par espèce. Or, il faut interpréter ces quantités avec prudence, car elles dépendent de facteurs tels que le calibre (masse) des bois brûlés mais aussi du niveau de fragmentation des charbons, paramètres difficiles à appréhender. Aussi, en plus de données brutes (tableaux de comptages) ou des représentations de fréquences relatives (ex. histogrammes de fréquences ou camemberts, ex. Fig. 14), nous avons choisi d'utiliser la présence / absence des essences par lot au regard de l'ensemble des prélèvements (cf. principe des calculs d'ubiquité utilisé par S. Coubray, Boulen *et al.*, 2018b) (Fig. 9).

L'interprétation « d'un choix particulier » d'une essence dépend généralement d'une sur-représentation de l'essence vis-à-vis d'une composition issue d'un ramassage de « tout venant ». Le calcul de l'indice de concentration de Pareto est basé sur le principe que dans un environnement à l'équilibre, 20% des espèces correspondent à environ 80% de la biomasse (Chabal *et al.*, 1999). C'est un indice qui a régulièrement été utilisé pour appréhender des ramassages sélectifs (Gaudin, 2025a, 2024a, 2024b) (exemple Fig. 14). L'utilisation d'essences allochtones ou rares peut aussi constituer un autre élément d'interprétation d'usages particuliers

(outils, objets, bois d'œuvre importés, recherche d'odeurs ou de fumées à la combustion...).

	Informations d'ordre ethnographique	Informations d'ordre naturel	Remarques
Palynologie en contexte de zone humide (histosols)	- taxons allochtones (ex. Céréales), - impact humain, (défrichements, sylviculture, landes brûlées, pâturées, cultures...).	- groupements végétaux des zones méso- à hygrophiles et locaux (prairies, cultures), - grandes formations régionales (types de forêts).	Tenir compte des paramètres propres aux sites tels que les vents, la topographie, les conditions taphonomiques, la taille du capteur (lac ou mare). Les contextes humides et restés ananérobie offrent la meilleure conservation pollinique.
Palynologie sur sédiment minéral sec (site archéologique)	- taxons allochtones, - impact humain, (défrichements, sylviculture, landes brûlées, pâturées, cultures...).	- groupements végétaux des zones méso- à hygrophiles et locaux (prairies, cultures), - grandes formations régionales (types de forêts).	Tenir compte des paramètres propres aux sites tels que les vents, la topographie, les conditions taphonomiques. <u>Les conservations différentielles sont fréquentes dans ce type de sédiment, ce qui peut impliquer des déformations de la composition pollinique.</u>
Anthracologie sur prélèvements épars ou foyer domestique correspondant à une longue durée d'utilisation	- taxons ligneux allochtones, - aire de ramassage, - technique de gestion forestière (taillis, futaies), - système technique des foyers.	- boisements locaux, - grandes formations régionales (nature des forêts), - information sur la structure des boisements (densité) via des mesures dendrologiques (largeurs de cernes, rythmes de croissance).	Informations sur la végétation ligneuse. Information reflétant en théorie des collectes sur une plus longue durée et une aire de ramassage plus vaste que l'étude d'une concentration charbonneuse. La diversité taxonomique et donc l'information paléoenvironnementale est meilleure. Informations sur le mode opératoire des foyers (allumage et entretien des foyers)
Anthracologie sur concentration charbonneuse : foyer ou combustion artisanale (fours, bas-fourneaux, restes de bois d'œuvre)	- taxons ligneux allochtones, - gestion du combustible dans le cadre de structures artisanales (ex. fours de potiers, bas-fourneaux, ateliers de métallurgie). - transport de bois.	- Présence / absence des taxons identifiés dans des périmètres plus ou moins importants dans le cas de transport du bois.	Informations sur la végétation ligneuse. Informations sur les modes opératoires, sur la gestion du combustible, sur des choix de combustible, d'essences, de calibre pour telle ou telle activité. Choix en matière de bois d'œuvre (construction, poteaux, palissade, clayonnage).

Fig. 3 Principales caractéristiques et informations potentiellement accessibles par les différentes techniques archéobotaniques (Gaudin, 2004).

3 Descriptions des résultats en présence, par période et par site.

3.1 Contextes et principaux résultats des trois études anthracologiques des sites de Granzegebur, Potaschberg et de Buergruef (commune de Grevenmacher).

Les études anthracologiques couvrent différentes périodes de La Protohistoire. La répartition des périodes couvertes par chaque étude est représentée dans le tableau de la figure 4. Nous avons retenu quatre « périodes », basées sur les attributions chronologiques utilisées notamment sur le site de Granzegebur : la période « Hallstatt C – Hallstatt D1 », « Hallstatt D – La Tène A », la période « La Tène B – La Tène C » et la période de « La Tène C ». Nous retiendrons avant tout l'ordre relatif de ces différentes attributions chronologiques, car certaines périodes peuvent se recouvrir partiellement :

Remarque : les périodes « La Tène C » et « La Tène B – La Tène C » ainsi que les périodes « Hallstatt C – Hallstatt D1 » et « Hallstatt D – La Tène A » sont potentiellement couvertes l'une de l'autre.

Remarque : pour le site de Buergruef, l'attribution chronologique est basée à la fois sur une datation absolue (cal BC 741-412) mais aussi, selon Iliya Hadzhipetkov, d'un import « Körbchenanhänger du type D » qui permet de dater le site de la période Hallstatt D3 au début de La Tène B1. Les résultats du site de Buergruef élargissent donc potentiellement sur la période « La Tène B – La Tène C ».

	Hallstatt C – Hallstatt D1	Hallstatt D – La Tène A	La Tène B – La Tène C	La Tène C
Grevenmacher – Granzegebur. OP 2022.067	9 prélèvements : contextes de trous de poteaux	19 prélèvements (Trous de poteaux)		95 prélèvements : silos (93) et trous de poteaux (2)
Grevenmacher – Potaschberg. OP 2023.048			13 prélèvements : contextes de fosses de stockage (12) et funéraire (1)	
Grevenmacher – Buergruef. OP 2024.139		4 prélèvements (fosse)		
Nombre de prélèvements :	9	23	13	95
Nombre de charbons :	176	559	117	871

Fig. 4 Nombre de prélèvements anthracologiques par période chronologique.

3.1.1 Description des prélèvements de la période «Hallstat C/Hallstat D1»

Pour cette période, neuf prélèvements proviennent des comblements de trous de poteaux du site de Granzegebur (Gaudin, 2025a). Les analyses montrèrent des ensembles assez diversifiés (neuf à dix taxons) issus probablement de ramassages de « tout venant », associés à des usages domestiques.

3.1.2 Description des prélèvements de la période «Hallstat D/La Tène A»

Les 23 prélèvements de la période « Hallstat D – La Tène A » proviennent surtout des 19 comblements de trous de poteaux du site de Granzegebur (Fig. 4). Pour ce site, les analyses révélèrent des ensembles charbonneux assez diversifiées (onze à douze taxons) issus de bois de moyens et petits calibres. L'observation des courbures de cerne montra une dominance des charbons de courbure intermédiaire. Des hypothèses de rejets de combustibles mêlés à des restes de bois d'œuvre carbonisés (poteaux, clayonnages) ont été suggérés (Gaudin, 2025a).

Pour le site de Buergruef, les quatre prélèvements sont issus de différents niveaux de comblements d'une même fosse (Gaudin 2025b). Le nombre de taxons assez restreint (six à sept taxons), composés à près de 90% de charbons de chêne ou de hêtre, excellents combustibles, suggéra des rejets de combustibles sélectionnés pour des usages spécifiques. De plus, la détection systématique de graines de céréales carbonisées permet d'envisager l'hypothèse de pratiques liées au traitement des graines, possiblement une activité de grillage ou de séchage des graines.

3.1.3 Description des prélèvements de la période « La Tène B/La Tène C»

Sur le site de Potaschberg, treize prélèvements ont été réalisés à l'intérieur des comblements de fosses de stockage attribués à la période « La Tène B / La Tène C » (Gaudin, 2025b) (Fig. 4).

Les contextes de fosse de stockage soulevèrent des problématiques de gestion du combustible liées aux activités de traitement des céréales. En effet, certains ensembles charbonneux étaient associés à des graines carbonisées, tandis que d'autres ne l'étaient pas. Toutefois, la comparaison des différentes compositions anthracologiques n'a révélé aucune différence significative. Les observations mettent en évidence des ensembles relativement diversifiés (neuf à dix taxons), ce qui serait plutôt caractéristiques de ramassages opportunistes de bois de « tout-venant », plutôt interprétés comme liés à des usages domestiques.

3.1.4 Description des prélèvements de la période « La Tène C »

La quasi-totalité des prélèvements, précisément datés de « La Tène C », provient des comblements de silos du site de Granzegebur (Gaudin 2025a). Le corpus analysé se distingue par son ampleur, avec un total de 93 prélèvements issus de ces comblements (Fig. 4). Deux prélèvements provenant de trous de poteaux complètent l'ensemble.

Là encore, compte tenu des contextes de prélèvement, une partie de la réflexion a porté sur la comparaison entre les ensembles charbonneux associés à des graines de céréales carbonisées et ceux qui en étaient dépourvus, dans l'optique d'identifier d'éventuels choix de combustible liés à la chaîne opératoire du traitement des céréales. Toutefois, la confrontation des différents résultats (association d'essences, calibres des bois utilisés, aspects des charbons) n'a pas permis de mettre en évidence une sélection particulière du combustible en lien avec la présence, ou pas, de graines. Les analyses indiquent au contraire des assemblages relativement diversifiés, témoignant de pratiques de collecte indifférenciée, de type « tout-venant », ce qui rejoint les résultats obtenus pour les prélèvements charbonneux observés pour les fosses de stockage de Potaschberg pour la période « La Tène B – La Tène C ».

3.2 L'étude pollinique (tests) de la zone humide située à proximité immédiate de l'occupation protohistorique de Granzegebur.

De manière générale en contexte archéologique, les couches sédimentaires ne présentent pas de conditions anaérobies permanentes (ex. nappe d'eau), ce qui rend généralement la conservation des pollens très aléatoire. Dans le cas ci-présent, la zone humide située à proximité du site de Granzegebur donnait une opportunité d'avoir des informations paléoenvironnementales potentiellement très intéressantes.

3.2.1 Prélèvements, extraction et méthode d'observation

Neuf « tests palynologiques » ont été effectués sur différentes colonnes de prélèvements (PR1, PR2, PR3, PR4 et PR5) tout en suivant la stratigraphie de comblement de la zone humide. Ces tests avaient pour but d'estimer le contenu palynologique des échantillons de sédiments, dans l'optique de faire des analyses plus approfondies et ainsi de décrire la mosaïque paysagère qui environnait le site.

L'extraction pollinique a été effectuée au sein du laboratoire de l'UMR CNRS 5805 EPOC (Environnements et Paléoenvironnements Océaniques et Continentaux) à l'université de Bordeaux. Les pollens ont été observés au sein du laboratoire ARKEOMAP. Les observations ont été réalisées sous microscope optique à immersion aux grossissements x500 et x1000.

Les outils utilisés pour les déterminations ont été de plusieurs sortes :

- des clichés photographiques pris au microscope optique et électronique,
- des atlas photographiques « pollens et spores d'Europe et d'Afrique du Nord » (Reille 1992) et « Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete » (Beug 2004).

Le nombre de grains de pollens et de spores comptés par échantillon a pu être variable en fonction des conditions de conservation et de la nature des sédiments. L'objectif de cette pré-étude étant avant tout d'estimer le potentiel palynologique, le nombre de 300 pollens habituellement préconisé pour une analyse complète (Reille, 1990) n'a pas été recherché.



Fig. 5. Photographies de pollens sous microscope optique à immersion, grossissement x1000. Les échelles représentent des micromètres. 1. Pollen de type Céréale (Plv n°5, PR5) ; 2. Pollen de bouleau (*Betula* sp.) (Plv n°8 PR1) ; 3. Pollen de chanvre/houblon (*Cannabis - Humulus*), (Plv n°3 PR4)

3.2.2 Résultats des tests

L'observation des échantillons a livré des résultats hétérogènes (Fig. 6 et 7). Pour trois des neuf échantillons, les résultats obtenus étaient mauvais. Les concentrations polliniques sont inférieures à 3000 pollens / mL. Cinq prélèvements ont montré des conservations « moyennes » (de l'ordre 5000 à 12000 grains / mL, mais avec parfois une légère sur-représentation de pollens « résistants » et de faibles diversités) en plus parfois de pollens remarquables (céréales, chanvre-houblon). Enfin un prélèvement (n° PR1 Pal8) a montré un potentiel intéressant (environ 33000 pollens / mL). De façon générale, mis à part le prélèvement le mieux conservé, les concentrations polliniques sont faibles voire très faibles en comparaison avec les concentrations polliniques observées dans les tourbières (souvent supérieures à 50000 pollens / mL).

Au niveau de la diversité taxonomique, une vingtaine de types polliniques a été observée pour l'ensemble des prélèvements. Le prélèvement le mieux conservé (PR1 Pal 8) portait à lui seul la plupart des taxons observés. Quelques spores (deux types) et microfossiles non polliniques (onze types) ont aussi été détectés (Fig. 6).

Taxons \ Code Prélèvements		PR1 – Pal 8 (0.22 – 0.24m)	PR1 – Pal 9 (0.44 – 0.46m)	PR2 – Pal 6 (0.12 – 0.14m)	PR2 – Pal 7 (0.42 – 0.44m)	PR3 – Pal 5 (0.32 – 0.34m)	PR4 – Pal 3 (0.14 – 0.16m)	PR4 – Pal 4 (0.44 – 0.45m)	PR5 – Pal 1 (0.06 – 0.08m)	PR5 – Pal 2 (0.34 – 0.36m)
Pollens	Frag. Pollen résineux	19	4	1	4	1	2	0	4	2
	Pinus	5	1	0	1	0	0	1	1	4
	Pinus sylvestris	3	1	0	0	1	0	0	2	0
	Quercus	3	0	0	1	0	0	1	0	0
	Tilia	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	Corylus	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Betula	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Alnus	0	0	0	2	7	4	2	0	0
	Pourcentages pollens d'arbres (%)	76.19	54.54	12.5	60	52.94	66.66	80	29.16	31.57
	POACEAE	1	0	0	0	1	1	1	1	4
	CICHOIRIODEAE	1	4	5	3	1	1	0	6	3
	ASTERACEAE	1	0	0	0	2	0	0	1	0
	CHENOPODIACEAE	0	0	0	0	0	0	0	0	3
	BRASSICACEAE	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	Cannabis / Humulus	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	Cerealia type	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Centaurea type jacea	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	VALERIANACEAE	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	APIACEAE	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	CYPERACEAE	3	1	0	0	1	0	0	7	1
	Juncaceae	0	0	0	0	1	0	0	1	0
	Lemna	1	0	2	2	0	0	0	0	1
	Nuphar	1	0	0	0	2	0	0	0	0
Spores	Spore monolète	15	8	24	33	23	27	39	55	18
	Spore trilète	0	1	0	1	0	0	0	1	0
Non polliniques	Concentricyste	0	0	5	0	0	0	2	0	0
	Phragmospores – HdV-729	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	Phragmoconidies – TM-036	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	Ascospores gp coprophiles – HdV-55 – Sorc	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	Améropores – TM-505	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	Améropores – TM-357	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	Améropores – HdV-207	7	6	16	8	19	18	24	61	5
	Dictyosporés – TM-4093	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	Spores algales et supposées – TM-4021	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Spores algales et supposées – HdV-181	2	0	2	0	2	1	1	2	2
	Microrestes colorés – TM-318	0	0	3	0	0	1	5	2	0
	Micro-charbons	0	0	0	0	0	0	0	55	0
	Indéterminés	0	0	6	1	1	1	0	1	1
	SOM. pollen (somme de base)	42	11	8	15	17	9	5	24	19
	SOM. Sporo-pollinique	57	20	32	49	40	36	44	80	37
	CONC. ABS Pollen (nb / cm3)	32831	2866	1223	6788	11694	8844	2646	8093	4805
	CONC. ABS Pollen et Spores (nb / cm3)	44556	5211	4892	22175	27515	35377	23282	26976	9357

Fig. 6 Comptages correspondant aux pollens et spores déterminés dans chacun des 9 prélèvements testés. Les valeurs grisées correspondent à taux de pollens d'arbres, des sommes polliniques, sommes sporo-polliniques et pour les deux dernières lignes à des concentrations absolues de pollens et de spores + pollens. Les concentrations absolues sont exprimées en nombre de grains par volume (mL) de sédiment.

La détection systématique et relativement importante des spores de Lycopodes exotiques introduits dans les volumes extraits (de 7 à 45 Lycopodes comptés, Fig. 7) a indiqué la réussite du traitement physico-chimique d'extraction du matériel sporo-pollinique. Ce constat montra que la faiblesse du stock pollinique tenait avant tout à la pauvreté des sédiments et non à la méthodologie employée pour l'extraction.

Code des prélèvements	Nombre de pollens comptés	Nombre de spores et Lycopodes introduits comptés	Concentration absolue pollen spores	Concentration absolue pollen uniquement	Etat de conservation	Diversité taxonomique	Indice de potentiel d'étude	Remarque
PR1 - Pal 8 (0.22 - 0.24m)	42	57	11	44556	32831	Bon	15	2
PR1 - Pal 9 (0.44 - 0.46m)	11	20	22	5211	2866	Très mauvais	7	4 à 5
PR2 - Pal 6 (0.12 - 0.14m)	8	32	45	4892	1223	Très mauvais	4	5
PR2 - Pal 7 (0.42 - 0.44m)	15	49	19	22175	6788	Moyen	10	3
PR3 - Pal 5 (0.32 - 0.34m)	17	40	10	27515	11694	Moyen	10	3
PR4 - Pal 3 (0.14 - 0.16m)	9	36	7	35377	8844	Moyen	6	3 - 4
PR4 - Pal 4 (0.44 - 0.45m)	5	44	13	23282	2646	Très mauvais	5	4 à 5
PR5 - Pal 1 (0.06 - 0.08m)	24	80	17	26976	8093	Moyen	11	3 - 4
PR5 - Pal 2 (0.34 - 0.36m)	19	37	34	9357	4805	Moyen	9	3 - 4

Fig. 7 Tableau synthétisant les sommes, les concentrations absolues en spores et pollens (en nb/mL de sédiment) ainsi que la diversité taxonomique de chaque prélèvement. Quelques faits remarquables sont aussi indiqués. Un ordre de priorité d'analyses des échantillons est proposé en tenant compte des résultats des tests (l'indice de 1 correspondant à un test très favorable, l'indice 5 correspondant à un résultat très défavorable).

Pour expliquer la pauvreté des résultats, on peut évoquer le temps de contact entre la pluie pollinique et les couches archéologiques. En effet, tout dépend de la durée de fonctionnement et de la dynamique (vitesse) de comblement sédimentaire des différentes structures. Il est très probable que la zone humide se soit comblée rapidement, ce qui expliquerait l'état de conservation plutôt bon des pollens mais des concentrations assez faibles (ex. PR2, PR5, PR4).

L'autre facteur important est le contexte de conservation pollinique. Dans certains échantillons, de nombreux « débris organiques » (enveloppes polliniques) ont été constatés sans qu'il soit possible d'identifier des taxons. Certains de ces échantillons présentaient des conservations différentielles avec une surreprésentation des taxons résistants à la corrosion comme par exemple les pollens de Cichorioïdées, les spores monolètes (ex. PR1 Pal9, PR2 Pal6, PR5 Pal 1, Fig. 7). Toutefois, ces surreprésentations semblaient assez légères pour les autres échantillons.

Le mode de dépôt et la nature des structures de « piégeage » des pollens ont aussi pu jouer sur les images paysagères perçues. En effet, la zone humide se situe dans un léger contrebas à proximité du site. Le comblement intègre, en plus de la pluie pollinique aérienne, des apports liés aux ruissellements et infiltrations depuis les environs immédiats (ex. apports polliniques plutôt locaux, associés par exemple aux ruissellements d'eaux usées). Dans ce cas, ce sont donc plutôt des ensembles polliniques locaux ou liés aux activités humaines autour de la zone humide qui sont pressentis. Les pollens peuvent aussi provenir potentiellement de toutes les surfaces végétalisées du versant associé à cette zone humide...

3.2.3 Interprétations des résultats obtenus

Notons tout d'abord que ces résultats proviennent de tests polliniques, qui ne répondent pas aux conditions de représentativité nécessaires (cf. chapitre 2) pour être qualifiés de "crédibles" (Fig. 7). Par ailleurs, en l'absence de datations absolues directement intégrées à la stratigraphie, il n'a pas été possible de caler les résultats dans le temps. En conséquence, aucune restitution paysagère précise n'a pu être proposée pour la période protohistorique. Néanmoins, compte tenu de la proximité de la zone humide avec le site archéologique de Granzegebur, il nous a semblé pertinent de commenter les résultats polliniques.

En ce qui concerne les prélèvements montrant des compositions polliniques potentiellement intéressantes (prélèvements n°PR2 Pal 7, PR3 Pal 5, PR4 Pal 3, PR 5 Pal 1, PR5 Pal2 et PR1 Pal8, Fig. 8), les pollens et spores identifiés proviennent à la fois de végétations herbacées et arborescentes. De façon générale, les végétations arborescentes apparaissent mieux représentées que les végétations herbacées (environ 50% à 80% des pollens) mais compte tenu du fort pouvoir de production et dissémination des pollens de résineux, ce constat est à relativiser. Notons toutefois que ce sont des paysages plutôt ouverts qui sont perçus pour les deux échantillons du prélèvement n°5 (PR5 Pal1 et PR5 Pal 2) avec des taux de pollens d'arbres de l'ordre de 30% (Fig. 6 et 8).

Pour les végétations arborescentes, les fragments polliniques de résineux ont systématiquement été identifiés dont du pin (*Pinus sp.*) et pin de type sylvestre (*Pinus type sylvestris*). Les formations de résineux sont difficiles à cerner à cause de modes de diffusion et de productions importantes.

Plus ponctuellement, des pollens de chêne (*Quercus sp.*) et de tilleul (*Tilia sp.*) (PR2 Pal7) ont été identifiés. Ils correspondent probablement à une **chênaie diversifiée**.

Les pollens de noisetier et de bouleau (Prélèvements n°PR1 Pal8) pourraient provenir de **boisements clairs, de lisières ou de haies, de secteurs en déprise agricole, voire de boisements hygrophiles** à l'intérieur de zones alluviales.

L'observation des pollens d'aulne (prélèvements n°PR2 Pal7, PR3 Pal 5, PR4 Pal3, PR4 Pal 4) attestent de l'existence de **boisements hygrophiles**.

Pour les végétations herbacées, ce sont les pollens de Cichorioïdées, Poacées qui sont les plus importants. Ils sont observés dans la plupart des prélèvements. Quelques pollens d'Asteracées, Chenopodiacées (PR 5 pal2), Apiacées (PR2 Pal 7), Centaurées, Cypéracées, pourraient correspondre à des végétations de type « **friches et jachères** » (Poacées, Cichorioïdées, Asteracées, Chenopodiacées, Apiacées, Cyperacées). Des végétations de type « **prairies méso- à hygrophiles** » (Poacées, Cypéracées, Juncacées) sont aussi assez plausibles. Un pollen de céréale (PR5 Pal2) et un pollen de « chanvre-houblon » (PR4 Pal3) constituent de potentiels indices de **cultures** (cf. photographies Fig. 5). Un pollen de *Centaurea type jacea*, (PR 1 Pal8) plante adventice, pourrait aussi attester l'existence de cultures.

Des pollens de lentilles d'eau (*Lemna sp.*) et de nénuphar (*Nuphar sp.*) ont régulièrement été identifiés (PR1 Pal8, PR2 Pal6, PR2 Pal7, PR3 Pal5, PR5 Pal2) . Ils caractérisent des **zones inondées profondes**.

Les spores monolètes, les spores trilètes, des amérospores type HdV-207, type TM-357, type TM-505, Dictyospores TM-4093, Phragmoconidies - TM-036

correspondent à des végétations de mousses, de fougères et de champignons difficilement interprétables. L'amérospore de « type HdV-207 » caractériserait le genre *Glomus* (Cugny, 2011), champignon parasite de plantes herbacées.

De plus, des spores algales et supposées de type HdV-181, type TM-4021 et un Phragmospores HdV-729, identifiés dans plusieurs prélèvements seraient synonymes d'eaux stagnantes peu profondes et eutrophes (Cugny, 2011).

Enfin, Un microfossile non pollinique (MNP) d'ascomycète de groupe coprophile (« type HdV-55 ») Sordariales pourrait être un indicateur de matières fécales, voire d'élevage (PR4 Pal 4).

		PR1 – Pal 8 (0.22 – 0.24m)	PR1 – Pal 9 (0.44 – 0.46m)	PR2 – Pal 6 (0.12 – 0.14m)	PR2 – Pal 7 (0.42 – 0.44m)	PR3 – Pal 5 (0.32 – 0.34m)	PR4 – Pal 3 (0.14 – 0.16m)	PR4 – Pal 4 (0.44 – 0.45m)	PR5 – Pal 1 (0.06 – 0.08m)	PR5 – Pal 2 (0.34 – 0.36m)
Identifiants prélèvements										
Taux de pollen d'arbres (AP)		76.19	54.54	12.5	60	52.94	66.66	80	29.16	31.57
Boisements	Résineux	++	++	+	++	+	+	+	++	++
	Boisements clairs, haies	+								
	Boisements hygrophiles				+	+	+			
	Chênaie mixte	+			+			+		
Végétations herbacées	Prairies hygro- à mésophiles pâturées					+			++	++
	Communautés rudérales, chemins, pacages, habitats...									
	Friches et jachères	+	+	+	+	+	+		+	+
	Cultures (types)	+					+			+
Zone Humide	(adventice)						(Chanvre / houblon)			(Céréale)
	Zones humides en voie d'atterrissement					+			+	
MNP	Zones inondées profondes	+		+	+	+				+
	Ascospores gp coprophiles – HdV 55 – Sordariales							+		
Indice de potentiel d'étude		2	4 à 5	5	3	3	3 – 4	4 à 5	3 – 4	3 – 4

Fig. 8 Tableau synthétique représentant le taux de pollens d'arbres et les principales formations végétales identifiées pour chacun des 9 prélèvements.

Compte tenu des très faibles concentrations polliniques constatées, des analyses complémentaires n'auraient pas permis d'obtenir des résultats significativement plus intéressants. Il n'a donc pas été décidé de poursuivre les investigation au delà des résultats de ces tests. Les résultats interprétés ci-dessus sont à considérer avec précaution car ce sont des résultats de tests.

3.3 Description paléoenvironnementale. Mise en perspective diachronique des principaux traits paysagers.

Les tests palynologiques réalisés dans la zone humide située à proximité du site de Granzegebur n'ayant pas été positifs (chapitre 3.2), il n'a malheureusement pas été possible d'obtenir une description de l'évolution de la mosaïque paysagère, à la fois arborescente et herbacée, des environs de Granzegebur.

En revanche, de nombreux prélèvements anthracologiques ont été réalisés dans des comblements de structures correspondant à différentes périodes protohistoriques. Les résultats obtenus ne sont pas équitablement répartis dans le temps. La période « La Tène C » est la mieux renseignée notamment grâce aux très nombreux silos identifiés lors de la fouille du site de Granzegebur. La période « Hallstatt D – La Tène A » est associée à une vingtaine de prélèvements provenant des sites de Granzegebur et de Buergruef. La période « La Tène B / La Tène C » correspond à la période d'occupation du site de Potaschberg avec essentiellement des comblements de fosses de stockage (1 « prélèvements). Enfin, une dizaine de prélèvements provenant de comblements de trous de poteaux nous informent sur la période « Hallstatt C – Hallstatt D1 » (Fig. 4).

Même si les collectes de bois répondent en partie à des besoins en combustible et à des « choix techniques » (ex. choix entre essences de bois dur ou tendre, bois d'allumage...), elles permettent néanmoins de fournir des indications précieuses sur la nature des paysages forestiers qui ont été explorés.

La comparaison entre les résultats anthracologiques des quatre périodes montre des aires de collectes assez semblables.

Tout d'abord, on constate systématiquement des ramassages à l'intérieur de boisements forestiers de type « **chênaie diversifiée** » et « **chênaie-hêtraie** ». Ces formations forestières sont caractérisées par l'association du chêne (*Quercus sp.*), chêne-châtaigner (*Quercus sp.* - *Castanea sp.*), hêtre (*Fagus sylvatica*), érable (*Acer campestre*), charme (*Carpinus betulus*) accompagnés potentiellement d'essences ubiquistes telles que le noisetier (*Corylus avellana*) et le bouleau (*Betula sp.*) (Fig. 12).

Si l'on se réfère à l'histogramme des fréquences de présence / absence (Fig. 9), le chêne et chêne-châtaigner sont presque systématiquement détectés dans l'ensemble des prélèvements (entre 80 et 100%). Le hêtre est quant à lui régulièrement observé sur les quatre périodes. Il est un peu plus fréquemment observés durant les deux premières périodes et rare sur le site de Potaschberg. La présence du hêtre, essence typiquement forestière, indique que la collecte de bois s'est effectuée au sein de milieux forestiers, probablement de type futaie.

L'érable est aussi identifié dans les quatre périodes et sur la plupart des sites. Il est en revanche perçu en moindre quantité. Le charme est quant à lui uniquement détectés sur le site de Granzegebur (période La Tène C) (Fig. 10).

Ces constatations sont en cohérence avec les résultats polliniques régionaux pour ces périodes, notamment ceux des diagrammes polliniques de la grotte diacalse de la Karelsé (Gaudin, 2019b). En effet, la synthèse de ces diagrammes montre la chênaie diversifiée (avec présence ponctuelle du hêtre) comme principale formation forestière identifiée au Subboréal (chronozone VIII, correspondant au Bronze final). Cette chênaie va laisser place à la chênaie-hêtraie (avec des taux polliniques continus de hêtre, la détection plus fréquente de l'érable et l'émergence

du charme) au cours du Subatlantique ancien (chronozone IX, correspondant à l'Age du Fer). Ces transformations paysagères « naturelles » s'accordent donc bien avec les observations anthracologiques.

Les aires de collectes des trois sites ont aussi systématiquement touché des **zones de boisements clairs, de fourrés ou de haies** (Fig. 10). Ces formations végétales sont représentées par les associations du noisetier, du bouleau, des essences de la famille des Pomoidées (ex. Aubépine) ou du genre *Prunus* (ex. prunellier, cerisier). Ces essences sont détectées durant les quatre périodes. Elles sont un peu plus fréquemment observées dans les prélèvements de Granzegebur, notamment au cours des périodes Hallstatt C / Hallstatt D1 et de Hallstatt D / La Tène A (Fig. 9). Peut-être que ces formations étaient un peu plus présentes dans les environs du site de Granzegebur.

Enfin, des collectes de bois à l'intérieur de **boisements humides** ont aussi été interprétées sur les trois sites.

Pour la période Hallstatt C/D1 (Granzegebur), ces boisements ne sont représentés que par des charbons de frêne, ce qui suggère une exploitation préférentielle de secteurs mésophiles à humides. En revanche, pour les périodes postérieures, l'exploration des milieux humides est attestée par la présence de l'aulne (*Alnus* sp.), du saule (*Salix* sp.), du saule/peuplier (*Salix* sp. / *Populus* sp.), mais également, de manière plus ponctuelle, du frêne (*Fraxinus* sp.) et de l'orme (*Ulmus* sp.) (Fig. 9, 10 et 12).

Les charbons d'aulne, de saule ou de saule/peuplier sont plus fréquemment attestés sur le site de Granzegebur, en particulier pour les phases Hallstatt D / La Tène A et La Tène C. Sur ce même site, quelques fragments de frêne et d'orme ont aussi été régulièrement observés, bien que de manière ponctuelle. La proximité du petit cours d'eau *Millebaach* a probablement créé des contextes abiotiques favorables à l'essor de ces formations humides.

L'aulne et surtout le saule/peuplier sont aussi identifiés sur les sites de Buergruef et de Potaschberg. À Buergruef, ces boisements humides pourraient s'être développés à l'intérieur de la zone alluviale de la *Moselle*. Ces boisements cantonnés dans les fonds de vallées, autour des zones humides ou dans les zones alluviales ont été explorés de façon continue au moins depuis la période Hallstatt D / La Tène A.

Ces types de boisements avaient aussi été identifiés dans les spectres polliniques contemporains (Chronozones VIII et IX) de la grotte de la Karelslé à Walbilig (Gaudin 2019b). On peut donc imaginer des paysages similaires à ceux décrits dans la vallée de l'Ernz noire durant la Protohistoire.

Il convient toutefois de souligner l'absence totale de taxons anthracologiques caractéristiques des formations de **landes ou de landes-fourrés** (par ex. bruyères, genêts) sur les sites de Grevenmacher. Cette absence ne peut être imputée à un simple "choix technique", dans la mesure où ces végétations, composées essentiellement de bois de petit calibre, constituent habituellement un combustible privilégié, notamment lors des phases d'allumage. Si de telles landes avaient existé à proximité des sites, elles auraient très probablement été détectées.

Cette absence marque une différence notable avec l'image paléoenvironnementale restituée sur les coteaux de la vallée de l'Ernz noire (grotte de la Karelslé) pour la même période. En effet, la présence de landes est très souvent associée à des phénomènes de sur-exploitation agricole et de dégradation des sols, précédant généralement une phase de déprise agraire. Ce schéma est bien attesté pour les périodes protohistoriques (Gaudin, 2019b ; Marguerie, 1992).

Contrairement aux environs de la grotte de la Karelslé à Waldillig, il ne semble donc pas y avoir eu de tels phénomènes dans les aires de collectes environnantes les sites de Grevenmacher.

L'absence totale de fragments de résineux est aussi à noter.

Afin de caractériser les structures des chênaies explorées, des moyennes de largeurs de cernes ont été effectuées sur les charbons de chêne de courbure faible ou intermédiaire. Ces mesures constituent un indicateur des dynamiques de croissances des arbres. Ces croissances dépendent à la fois de la disponibilité des ressources (lumière, eau, sels minéraux) mais aussi à de potentielles compétitions, et notamment la densité des boisements, pour accéder à ces ressources. Ainsi, un arbre poussant dans un contexte de croissance contraignant (ex. boisement dense) aura une croissance plus faible, avec des cernes étroits, par rapport à un arbre vivant sans contrainte (ex. arbre isolé). Des moyennes de largeurs de cernes ont pu être calculées sur des charbons de chêne de 27 prélèvements différents répartis sur les quatre périodes (Fig. 11 et 12).

Les moyennes obtenues sont pour la plupart comprises entre 0,6 mm / an et 1,5 mm / an et ce, quelle que soit la période. Ces valeurs témoignent d'approvisionnements en combustible issus de chênaies (chêne, charme, érable) et de chênaies-hêtraies correspondant probablement à des boisements assez denses (Fig. 11). La mise en perspective chronologique des résultats ne révèle pas d'évolution significative de ces moyennes. Une augmentation progressive aurait pu être interprétée comme le reflet de conditions de croissance plus favorables, généralement liées à une ouverture du paysage. Or, une telle dynamique n'apparaît pas clairement à Grevenmacher.

On note cependant deux moyennes nettement plus élevées (2,2 mm/an et 1,92 mm/an), respectivement pour les périodes de La Tène B/C et de La Tène C (Fig. 11). Elles proviennent d'un prélèvement effectué sur le site de Potaschberg (prélèvement n°55) et d'un autre de Granzegebur (prélèvement n°2022-067/137). Bien que ces données isolées ne suffisent pas à démontrer une ouverture généralisée du paysage, elles pourraient annoncer une présence légèrement plus fréquente d'espaces ouverts pour ces deux dernières périodes. Il pourrait s'agir par exemple de chênes ayant poussé dans des contextes plus favorables, tels que des haies ou des lisières.

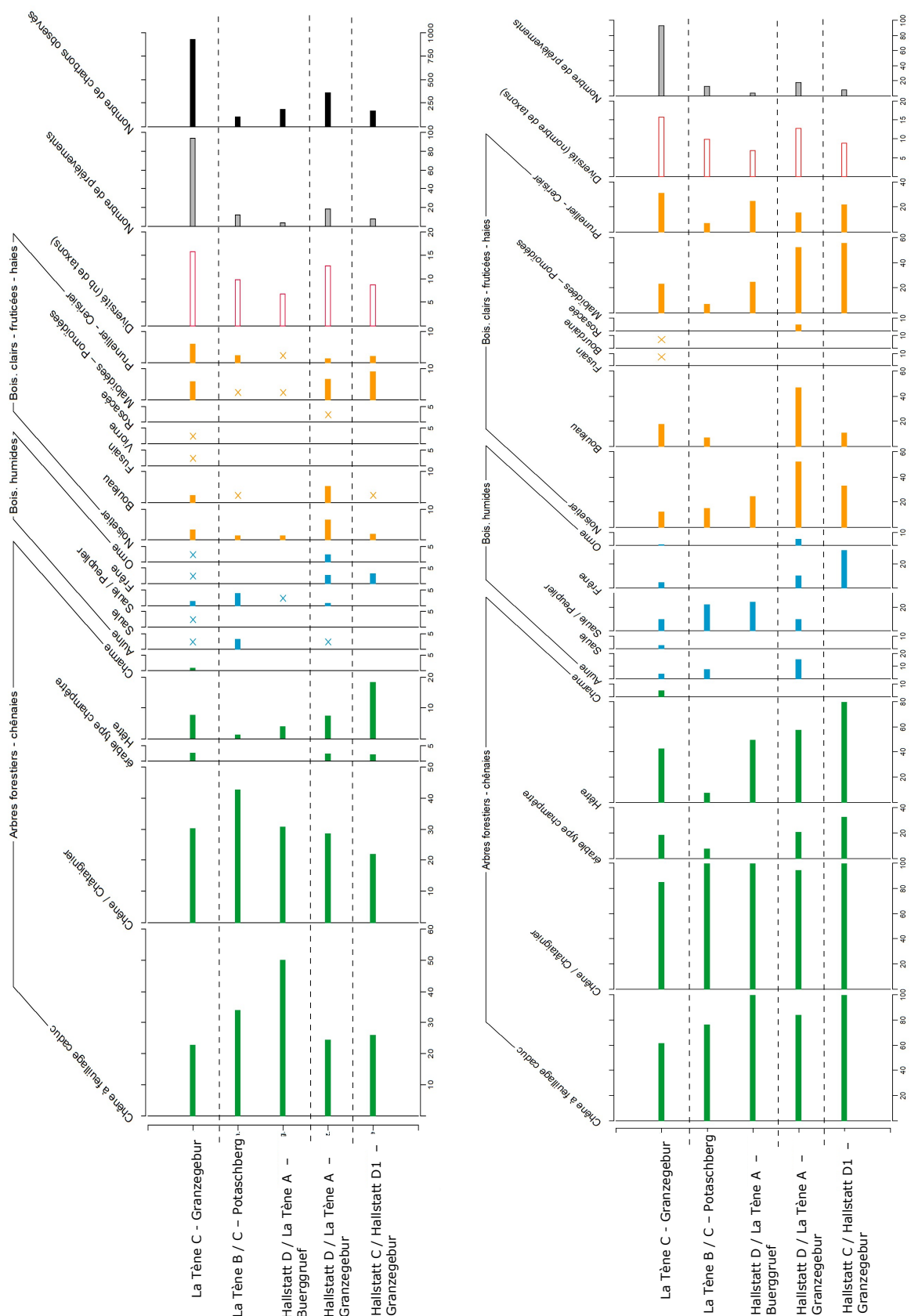


Fig. 9 Résultats comparés des fréquences relatives des taxons ligneux exprimant le nombre de fragments de chaque taxon par rapport à l'ensemble des fragments (histogramme de gauche) et des fréquences des taxons ligneux en fonction de leur présence ou absence dans chaque prélèvement (histogramme de droite). Les fréquences inférieures à 1% sont symbolisées par une croix. Les deux graphiques montrent l'évolution des valeurs au cours des trois périodes pour l'ensemble des 3 sites de Grevenmacher.

PERIODES		Hallstatt C – D1	Hallstatt D / La Tène A		La Tène B / C	La Tène C
Sites : numéros d'opérations		Granzegebur : OP 2022.067	Granzegebur : OP 2022.067	Buerggruef : OP 2024.139	Potasschberg : OP 2023.048	Granzegebur : OP 2022.067
Arbres forestiers						
Quercus sp.	Chêne à feuillage caduc	46(9)	90(16)	96(4)	40(10)	217(59)
Quercus sp. / Castanea sp.	Chêne / Châtaignier	39(9)	106(18)	59(4)	50(13)	287(81)
Acer campestre	Érable type champêtre	4(3)	10(4)	0	1(1)	27(18)
Fagus sylvatica	Hêtre	33(8)	28(11)	8(2)	2(1)	75(41)
Carpinus betulus	Charme	0	0	0	0	11(5)
Forêts ripicoles						
Alnus sp.	Aulne glutineux	0	3(3)	0	4(1)	6(4)
Salix sp.	Saule	0	0	0	0	5(3)
Salix sp. / Populus sp.	Saule / Peuplier	0	4(2)	1(1)	5(3)	14(10)
Fraxinus sp.	Frêne	6(3)	11(2)	0	0	5(5)
Ulmus sp.	Orme	0	10(1)	0	0	1(1)
Boisements clairs, sous-bois, fruticées – haies						
Corylus avellana	Noisetier	4(3)	25(10)	3(1)	2(2)	32(12)
Betula sp.	Bouleau	1(1)	20(9)	0	1(1)	26(17)
Euonymus sp.	Fusain	0	0	0	0	2(1)
Frangula alnus	Bourdaie	0	0	0	0	2(1)
Rosaceae	Rosacées arbustifs	0	2(1)	0	0	0
Pomoidées	Maloidées – Pomoidées	16(5)	25(10)	1(1)	1(1)	57(22)
Prunus sp.	Cerisier des oiseaux – prunellier	4(2)	6(3)	1(1)	3(1)	59(30)
Diversité (nombre de taxons différents)		9	13	7	10	16
Nombre de prélèvements		9	19	4	13	95
Nombre de fragments observés		176	366	191	117	941

Fig. 10 Tableau montrant les nombres de charbons des taxons ligneux déterminés pour chaque site et période. Entre parenthèses est indiqué le nombre de prélèvements dans lesquels les taxons ont été détectés.

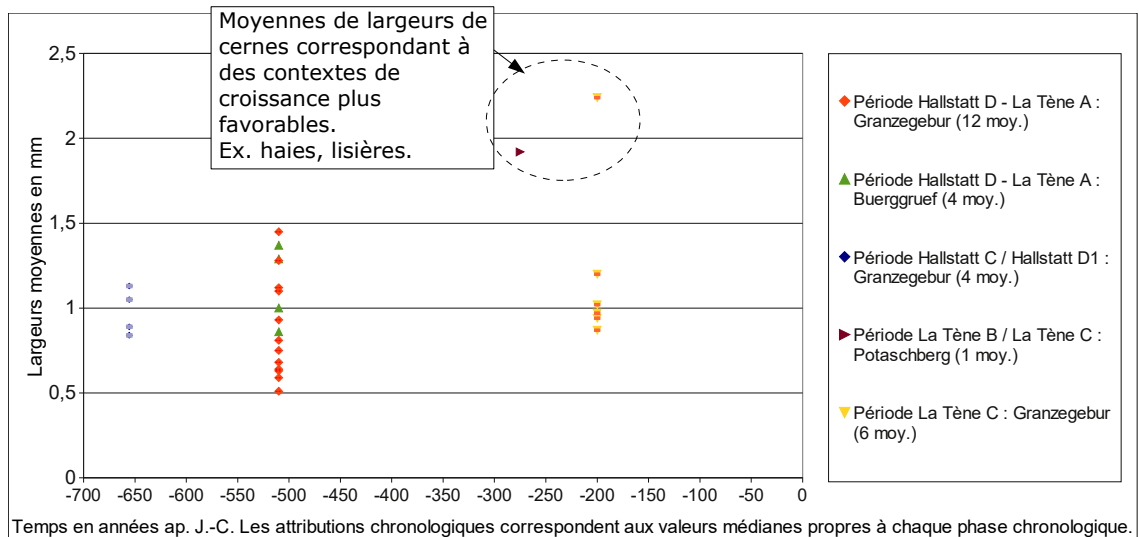


Fig. 11 Graphique montrant l'évolution des moyennes de largeurs de cernes sur la base de 27 prélèvements ayant fait l'objet de mesures de largeurs de cernes sur les fragments de chêne de courbure faible ou intermédiaire (Gaudin 2024a, 2024b, 2025b). Chaque valeur correspond à une moyenne par prélèvement. L'attribution chronologique correspond aux modes des différentes périodes chronologiques (-655 cal. BC pour Hallstatt C – D1 ; -510 cal. BC pour Hallstatt D / La Tène A ; -275 cal. BC pour La Tène B / C ; -200 cal. BC pour La Tène C).

PERIODES		Hallstatt C – D1	Hallstatt D / La Tène A		La Tène B / C	La Tène C
sites		Granzegebur : OP 2022.067	Granzegebur : OP 2022.067	Buerggruef : OP 2024.139	Potatschberg : OP 2023.048	Granzegebur : OP 2022.067
Nb de prélèvements		9	19	4	13	95
Nb de charbons observés		176	366	191	117	941
Boisements forestiers (chêne diversifié, chênaie-hêtraie)	anthracologie	++ chêne, chêne/châtaignier, hêtre, érable. Détection du hêtre un peu plus importante.	++ (chêne, chêne/châtaignier, hêtre, érable ...)	++ chêne, chêne/châtaignier, hêtre	++ chêne, chêne/châtaignier, hêtre, érable	++ chêne, chêne/châtaignier, hêtre, érable, charme.
Moyennes de largeurs de cernes sur fragments de chêne	Dendro-anthracologie	0,89 à 1,13 mm / an (4 moy.) : contextes de croissance difficile : type forêt fermée	0,59 à 1,45 mm / an (12 moy.) : contextes de croissance difficiles : type forêt fermée	0,86 à 1,37 mm / an (4 moy.) : contextes de croissance difficile : type forêt fermée	1,92 mm (ec-type = 0,54) (1 moy.) : contexte de croissance moyennement favorable. Boisements plus clairs (?)	0,87 à 2,24 mm / an (6 moy.) : Hypothèses de collectes dans des boisements hétérogènes : boisements clairs et boisements fermés ou aux conditions abiotiques contraignantes. Potentiellement une mosaïque de boisements clairs et fermés.
Boisements clairs (zones de déprises agricoles, friches évoluées, lisières, haies)	anthracologie	++ : noisetier, bouleau, Pomoidées, Prunus,	++ : noisetier, bouleau, Pomoidées, Prunus, Rosacées	: Noisetier, Pomoidée, Prunus	+ : noisetier, bouleau, Pomoidée, Prunus.	++ : noisetier, bouleau, Pomoidées, Prunus, fusain, bourdaine
Boisements hygrophiles	anthracologie	+ : frêne	+ : aulne, saule/peuplier, frêne, orme	: saule/peuplier	+ : aulne, saule/peuplier	+ : saule/peuplier, aulne, saule, frêne, orme.

Fig. 12 Tableau de synthèse montrant quelques indicateurs dendro-anthracologique, descripteurs des paysages passés. Les valeurs « + » et « ++ » correspondent aux évaluations quantitatives des indices.

3.4 Informations d'ordre ethnographique. Interprétations techniques de la gestion du combustible.

Afin d'interpréter les ensembles charbonneux sous un angle technique, les résultats d'analyses ont été classés selon trois critères : leur attribution chronologique (trois périodes), leur site de provenance (Granzegebur, Potaschberg et Buergrueff) et le type de structures dont sont issus les prélèvements (trous de poteaux, fosses de stockage ou silos). La présence de graines carbonisées dans certains prélèvements a également été prise en compte dans le but d'identifier d'éventuelles différences significatives des compositions anthracologiques. Cette démarche a permis d'aboutir à un tableau synthétique distinguant neuf grandes catégories d'ensembles de prélèvements, dont les résultats sont présentés à la figure 14.

Les périodes Hallstatt C / Hallstatt D1 ainsi que Hallstatt D/La Tène A sont principalement représentées par des prélèvements issus de trous de poteaux (Granzegebur). Les comblements de ces structures contenaient parfois uniquement des charbons et parfois une association de charbons et de graines carbonisées.

En revanche, la plupart des structures de type « silos » ou « fosses de stockage » sont attribuées aux périodes La Tène B/C (Potaschberg) ou La Tène C (Granzegebur). Les comblements de ces structures comportaient parfois des graines carbonisées, des concentrations charbonneuses élevées mais sans graines, parfois des concentrations charbonneuses faibles.

Dans la perspective de détecter d'éventuelles évolutions dans la gestion et l'utilisation du combustible, les principaux résultats ont été synthétisés et interprétés par période (Fig. 14 ; chapitre 3.4.1). Par ailleurs, afin de répondre à la problématique des rejets charbonneux pouvant être liés à des chaînes opératoires de traitement des graines (torréfaction, séchage ?), des comparaisons ont été menées entre les ensembles charbonneux contenant des graines et ceux qui en étaient dépourvus (chapitre 3.4.2).

3.4.1 Comparaison des résultats en fonction des différentes périodes : interprétations techniques.

- La comparaison chronologique des résultats met en évidence l'utilisation d'ensembles d'essences de bois similaires :

En effet, quelle que soit la période, on constate une dominance du chêne, chêne-châtaigner associé par ordre d'importance au hêtre, au noisetier, aux Pomoidées, au genre *Prunus* dans une grande partie des prélèvements. De façon secondaire, on constate aussi souvent l'utilisation du saule, saule/peuplier, de l'érable, voire du bouleau, du frêne et du charme (Fig. 14).

Le chêne (chêne-châtaigner), le hêtre, l'érable, le charme, le frêne, les Pomoidées, le genre *Prunus* sont qualifiés de bois « denses ou lourds ». Ces essences sont considérées comme de bons combustibles dans le sens où leur combustion génère beaucoup de chaleur et des braises qui durent longtemps. Toutefois, ils peuvent être difficiles à enflammer, d'où la nécessité de les employer avec du bois de petit calibre, souvent du bois de Pomoidée ou de *Prunus*, mais parfois aussi avec des bois plus « légers ou tendres » (Rameau *et al.*, 1989), comme le saule/peuplier, le noisetier, le bouleau, offrant des combustions rapides, mais brèves. Ce sont probablement ces « habitudes techniques » qui expliquent avant tout la récurrence dans l'emploi des mêmes essences au fil du temps.

Ce sont probablement aussi ces raisons « techniques » qui expliquent l'exploration systématique à la fois de boisements de type forestier (chêne diversifiée, chênaie-hêtraie), des boisements clairs (ex. noisetier, bouleau, frêne), fruticées, fourrés (ex. Pomoidées, *Prunus*, fusain, églantier) et de boisements humides (aulne, saule, saule/peuplier, bourdaie) (Fig. 12).

- Des ensembles charbonneux avec de faibles proportions de charbons d'aspects luisants :

La proportion des charbons d'aspect luisant est assez faible dans la plupart des prélèvements. En effet, ils représentent dans la plupart des cas entre 10 et 20% des ensembles seulement (Fig. 14). Ces aspects sont généralement interprétés comme la conséquence de combustions particulièrement chaudes et anaérobies (ex. fours) (Blaizot *et al.*, 2004 ; Oilic, 2011) (explication Chapitre 2 - anthracologie). Dans les cas ci-présents, compte tenu des faibles pourcentages, il s'agit probablement d'effets localisés, peut-être des charbons issus de combustions de « fonds de foyers ». En conclusion, la plupart des ensembles charbonneux sont donc issus de combustions aérobies, de type « foyers ouverts ».

Notons toutefois pour le site de Buergruef, une proportion plus importante de charbons à l'aspect luisant (entre 30 et 50% des fragments). Pour ces charbons mêlés à des graines carbonisées et retrouvés dans le comblement d'une fosse, l'hypothèse de rejets charbonneux liés à une chaîne opératoire de traitement des graines (par exemple, grillage ou séchage) a été avancée. Ce type d'activité aurait pu nécessiter des combustions « fermées » (ex. four, séchoir ou foyers couverts), susceptibles d'avoir provoqué un début de phénomène de « vitrification ».

- Des ensembles charbonneux issus de combustibles « secs » :

Dans l'ensemble des prélèvements, très peu de charbons présentaient des fentes de retrait (Fig. 14). De manière générale, les bois semblent donc avoir été systématiquement utilisés à l'état sec (et non vert), ce qui suppose l'existence de moyens de protection par rapport aux intempéries et de stockage préalable à leur emploi.

- Du combustible constitué surtout de bois de moyen et petit calibre durant la période Hallstatt D / La Tène A et essentiellement de petit calibre pour les autres périodes :

L'observation des courbures des cernes des fragments de charbons a permis d'estimer le calibre des bois utilisés.

Pour la période du Hallstatt D / La Tène A, les analyses du site de Buerggruef et des prélèvements de trous de poteau « sans graines » de Granzegebur ont montré une part importante de charbons de courbure intermédiaire. Pour ces deux ensembles, ce sont probablement des grosses branches qui ont été employées.

En revanche, pour l'ensemble des autres prélèvements, ce sont majoritairement des bois de petit calibre (petites branches) qui ont été utilisés. Les rayons minimum des bois employés, estimés par calibration (détail chapitre 2) sur des fragments de La Tène C issus du site de Granzegebur (Gaudin, 2024a), varient entre 3 et 20 mm (Fig. 13). L'utilisation de ces petits bois induit des combustions vives mais brèves. Leur surreprésentation pourrait également s'expliquer par des considérations pratiques, telles que la facilité de coupe et de transport.

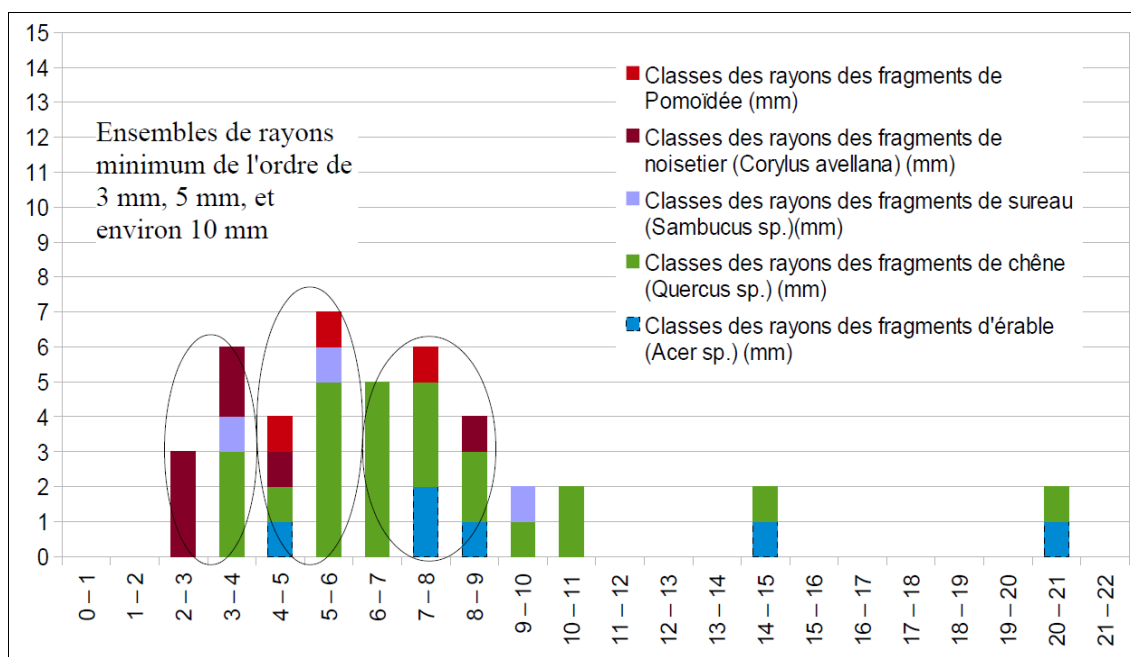


Fig. 13 Distribution des rayons (mm) mesurés sur des charbons de section entière ou des positions radiales calculées par calibration (calculs trigonométriques basés sur des mesures d'angles de rayons et de côté, Dufrasse *et al.*, 2011), pour des fragments de Pomoidée, noisetier, chêne, hêtre, érable par classe de 1 mm pour l'ensemble des prélèvements associés à des graines carbonisées et provenant des silos de La Tène C (site de Granzegebur). Les calculs montrent des rayons minimum de bois compris entre 3mm à 20 mm.

- Des types de collectes et d'assemblages en combustibles différents entre sites et périodes, hypothèses d'explications :

Des graphiques exprimant l'indice de concentration de Pareto ont été réalisés sur chacun des neuf ensembles anthracologiques correspondant aux différentes périodes et sites (Fig. 14). Le principe du calcul repose sur le fait que dans les communautés végétales en équilibre, 20% des taxons correspondent à environ 80% de la biomasse (Chabal *et al.*, 1999) (cf. principe Chapitre 2 - anthracologie).

Les graphiques obtenus pour la période Hallstat D / La Tène A (comblements de trous de poteaux avec ou sans graines carbonisées du site de Granzegebur et comblements de fosse du site de Buergrueff) montrent que les proportions des taxons anthracologiques ne reflètent pas les proportions attendues en théorie dans les communautés végétales naturelles. Cette différence pourrait s'expliquer par une collecte « sélective » de certaines essences. Plusieurs hypothèses peuvent être suggérées pour expliquer ces choix.

Pour les prélèvements associés aux trous de poteaux de Granzegebur, l'observation détaillée des compositions anthracologiques de cette période montre des choix qui se sont davantage portés vers des essences comme le noisetier, le bouleau, les Pomoïdées, le frêne ou l'érable, au détriment du chêne et du hêtre (même si ces deux essences restent majoritaires). L'hypothèse de bois d'œuvre, utilisés dans un second temps comme combustible, est plausible. L'utilisation de bois de moyen calibre, en particulier le chêne, pour la confection de bois de construction, ainsi que celle du noisetier dans la réalisation de clayonnages, a été avancée. Une autre hypothèse plausible serait celle de ramassages ciblés vers la collecte de bois de petit calibre, naturellement fournis par le noisetier, le bouleau ou les Pomoïdées ce qui expliquerait leur sur-représentation. Ces petits bois (de type « fagot ») peuvent en effet être recherchés pour obtenir des combustions particulièrement intenses.

Pour le site de Buergrueff, c'est davantage la sur-représentation du chêne qui explique la différence avec les proportions théoriques d'un environnement naturel. Cette différence résulte probablement de choix délibérés, orientés vers des essences reconnues pour leurs excellentes qualités de combustibilité, telles que le chêne et le hêtre, qui représentent à elles seules plus de 95 % des fragments identifiés. Pour ce site, le choix de ces excellents combustibles en plus des aspects luisants (cf. ci-dessus) et l'association systématiques de graines carbonisées ont permis d'évoquer l'hypothèse de rejets de combustions liés à des activités de traitements de céréales (ex. grillage ou séchage de graines).

En revanche, pour les périodes Hallstatt C / D1, La Tène B/C et de La Tène C, les calculs de l'indice de Pareto réalisés sur les ensembles de Granzegebur et de Potaschberg montrent que les proportions des taxons anthracologiques constatées sont assez proches de celles observées dans les communautés végétales naturelles. Si l'on en croit cet indice, les ensembles charbonneux sont donc probablement issus de ramassages de « tout venant », peu sélectifs, ce qui serait plutôt à rapprocher des usages domestiques. L'utilisation d'essences de combustibilité assez médiocre comme des fragments d'orme, de fusain, de bourdaine, mais aussi d'écorce, de brindilles, d'os aurait aussi tendance à renforcer cette hypothèse.

3.4.2 Hypothèses de rejets charbonneux en lien avec des activités de traitements des céréales. Comparaison des résultats anthracologiques en fonction de la présence ou pas de graines associées aux charbons.

Les contextes de prélèvements, qu'il s'agisse des comblements de fosses de stockage (Potaschberg) ou de silos (Granzegebur), ainsi que les observations récurrentes de graines carbonisées associées à certains prélèvements charbonneux, nous ont naturellement amené à envisager l'hypothèse de rejets de combustion liés à des activités de traitement des céréales, telles que des phases de grillage ou de séchage.

En vue d'identifier de potentiels rejets de combustion issus de chaînes opératoires dédiées au traitement des céréales, nous avons cherché à comparer des ensembles charbonneux provenant de contextes de prélèvements similaires (même type de structure de comblement et même période) avec ou sans graines carbonisées :

- Comparaison entre les compositions anthracologiques – avec ou sans graines carbonisées – des comblements de trous de poteaux de la période Hallstatt D / La Tène A du site de Granzegebur :

La comparaison des deux types d'ensembles anthracologiques ne montre pas de différences significatives :

- Huit des douze taxons anthracologiques identifiés dans les prélèvements associés à des graines sont détectés dans les prélèvements sans graines,
- les calculs de l'indice de concentration de Pareto montrent systématiquement des rapports en léger déséquilibre vis à vis des proportions attendues en théorie dans la nature. Ces résultats sont significatifs de ramassages sélectifs notamment vers des bois de noisetier, bouleau, Pomoïdée en plus du chêne et du hêtre toujours prépondérants,
- l'analyse des courbures de cerne montre des fragments provenant essentiellement de bois de petit à moyen calibre,
- les charbons ont des aspects mats dans leur globalité, ce qui est significatif de combustions aérobies (type « foyers ouverts »),
- assez peu de fragments avec des fentes de retrait ont été observés. Les charbons sont donc issus de la combustion de bois « secs ».

Pour les comblements des trous de poteaux du site de Granzegebur durant la période Hallstatt D / La Tène A, la présence ou pas de graines carbonisées associées aux prélèvements charbonneux semble donc indépendante vis à vis des compositions anthracologiques. Au regard de ces résultats, il n'est pas possible d'identifier un ensemble de combustible ou un type combustion particulier qui serait étroitement associé à la présence de graines carbonisées (Fig. 14).

- Comparaison des ensembles anthracologiques des sites de Granzegebur et de Buerggruef de la période Hallstatt D / La Tène A :

L'ensemble anthracologique de Buerggruef, prélevé à l'intérieur d'une fosse en présence de graines carbonisées est apparu assez différent des lots de Granzegebur.

En effet, pour Buerggruef, les analyses ont montré l'emploi essentiellement de charbons de chêne et de hêtre (à 95%). De plus ces charbons avaient dans 30 à 50 % des cas des aspects luisant. Ces aspects suggèrent des rejets issus de combustions plus ou moins confinées, chaudes et anaérobies, et caractéristiques d'un fonctionnement en foyer couvert ou en four (Gaudin, 2025b). Ce début de « phénomène de vitrification », en plus du choix porté vers le chêne et le hêtre, excellents combustibles, pourraient être cohérents avec l'hypothèse d'activités de type « artisanal » possiblement des pratiques liées au traitement des graines, telles que des activités de grillage ou de séchage des graines à l'intérieur de structures chauffées de type fours, séchoir ou foyers couverts.

En revanche, les ensembles charbonneux de Granzegebur, plus diversifiés et d'aspect mat relèvent à priori d'autres types de combustions, probablement plutôt de type « foyers ouverts » (Fig. 14).

- Comparaison entre les compositions anthracologiques - avec ou sans graines carbonisées - des comblements de fosses de stockage de Potaschberg attribués à la période La Tène B / C :

Pour le site de Potaschberg, la comparaison entre les ensembles anthracologiques associés à des graines et sans graines (Fig. 14) a permis de reconnaître des traits assez semblables :

- Le chêne et chêne-châtaigner dominant les ensembles anthracologiques,
- les calculs de l'indice de concentration de Pareto montrent systématiquement des rapports d'équilibre proches de ceux attendus en théorie dans la nature. Ces résultats sont significatifs de ramassages de « tout venant », plutôt caractéristiques des activités domestiques,
- l'analyse des courbures de cerne montre des fragments provenant essentiellement de bois de petit à moyen calibre,
- les observations des charbons ne montrent pas d'aspect particulièrement luisant, indiquant des conditions de combustion plutôt aérobies (combustions de type « foyers ouverts »),
- assez peu de fentes de retrait ont été observées. Les charbons sont donc issus de bois « secs ».

Les ensembles charbonneux de Potaschberg, qu'ils soient associés ou non à des graines carbonisées semblent provenir de mêmes assemblages en combustibles et de mêmes types de combustion (types « foyers ouverts »). Des rejets de combustions associées à des usages domestiques constituent l'hypothèse la plus probable pour la plupart des prélèvements.

- Comparaisons entre les compositions anthracologiques – avec ou sans graines carbonisées et ensembles de faibles concentrations – issus des comblements de silos de Granzegebur attribués à la période de La Tène C :

La comparaison des trois types d'ensembles anthracologiques a permis de reconnaître des traits assez semblables (Fig. 14) :

- Dix des douze taxons anthracologiques identifiés dans les prélèvements associés à des graines sont détectés dans les prélèvements sans graines,
- les calculs de l'indice de concentration de Pareto montrent systématiquement des rapports d'équilibre proches de ceux attendus en théorie dans la nature. Ces résultats sont significatifs de ramassages de « tout venant »,
- l'analyse des courbures de cerne montre des fragments provenant essentiellement de bois de petit à moyen calibre,
- l'observation des charbons ne montrent pas d'aspect particulièrement luisant, indiquant des conditions de combustion plutôt aérobies (combustions de type « foyers ouverts »),
- assez peu de fentes de retrait ont été observées. Les charbons sont donc issus de bois « secs ».

Pour les comblements de silos de La Tène C, les compositions anthracologiques, qu'elles soient ou non associées à la présence de graines carbonisées, ne semblent pas présenter de différences significatives. Il n'est donc pas possible d'identifier un type particulier de combustible ou de combustion en lien avec la détection de graines carbonisées.

- Bilan des comparaisons entre ensembles charbonneux avec ou sans graines.

En conclusion, au regard de ces constats, aucune relation directe ne peut être établie entre la présence de graines carbonisées et les compositions anthracologiques observées. Il n'est donc pas possible d'associer les ensembles charbonneux à une chaîne opératoire liée au traitement des graines par ce biais.

De façon plus générale, à l'exception des ensembles de charbons issus du site de Buergruef, dont la composition singulière pourrait être liée à des activités de type « artisanal », voire au traitement des céréales, les charbons des sites de Granzegebur et de Buergrueff semblent davantage correspondre à des rejets issus de combustions en foyer ouvert, dont certaines sont probablement d'origine domestique.

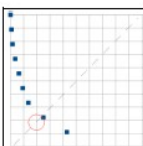
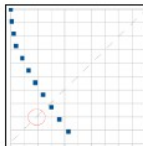
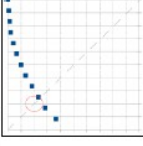
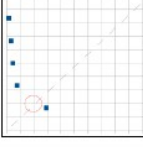
Périodes	Hallstatt D / La Tène A			La Tène B / C		La Tène C		
Sites et descriptions des prélèvements	Hallstatt C / D1	Granzeburg TP avec graines carbonisées 6 prélèvements ; 134 charbons	Granzeburg TP sans graines carbonisées 12 prélèvements ; 210 charbons	Buergruoff Comblement de fosse avec graines 4 prélèvements ; 172 charbons	Potassberg Fosses de stockage Comblements avec graines 7 prélèvements ; 53 charbons	Potassberg Fosses de stockage Comblements sans graines 6 prélèvements ; 64 charbons	Granzeburg Silo avec faibles concentrations de charbons , prélèvements éparpillés, ou isolés. 64 prélèvements ; 385 charbons	Granzeburg Silo sans graines carbonisées 6 prélèvements ; 69 charbons
Compositions taxonomiques, Proportions des taxons : Essences principales, ordonnées par ordre d'importance.								
Ind. conc. Pareto interprétations								
Estimation calibre	Bois de courbure forte (2/3), et intermédiaire (1/3). Bois de petit et moyen calibre.	Petit calibre, petites branches, brindilles. Quelques grosses branches de chêne.	Bois de courbure intermédiaire, bois de branches ou de perches. Poteaux ?	Bois de courbure (2/3), et intermédiaire forte (1/3)	Bois de courbure forte (2/3), et intermédiaire (1/3).	Bois de courbures fortes (2/3), et intermédiaire (1/3).	Bois de courbures fortes (3/4), et intermédiaire (1/4).	Bois de courbures fortes (3/4), et intermédiaire (1/4).
Aspect des charbons	Aspect mat, combustion ouverte.	Aspect mat, combustion en contexte ouvert	Aspect mat, combustion en contexte ouvert	Aspect luisant important avec env. 1/3 des charbons	Aspect mat, combustion en contexte ouvert	Aspect mat, combustion en contexte ouvert	Aspect mat, combustion en contexte ouvert	Aspect mat, combustion en contexte ouvert

Fig. 14 Tableau de synthèse de quelques descripteurs dendro-anthracologiques et statistiques tirés des différents ensembles charbonneux classés par période et par site de Grevenmacher.

■	Fusain (<i>Euonymus europaeus</i>)
■	Bourdaïne (<i>Frangula alnus</i>)
■	Aulne / noisetier (<i>Alnus/Corylus</i>)
■	Erable (<i>Acer</i> sp.)
■	Aulne (<i>Alnus</i> sp.)
■	Bouleau (<i>Betula</i> sp.)
■	Charme (<i>Carpinus</i> sp.)
■	Noisetier (<i>Corylus avellana</i>)
■	Noisetier / bouleau (<i>Corylus avellana</i> / <i>Betulus</i> sp.)
■	Hêtre (<i>Fagus sylvatica</i>)
■	Frêne (<i>Fraxinus</i> sp.)
■	Pomoidées
■	Prunus sp.
■	Chêne (<i>Quercus</i> sp.)
■	Chêne / Châtaignier (<i>Quercus/Castanea</i>)
■	Saule / Peuplier (<i>Salix/Populus</i>)
■	Genre <i>Rosa</i> sp.
■	Fragments de brindille indet.
■	Indéterminés
■	Orme (<i>Ulmus</i> sp.)

Fig. 15 Légende des couleurs associées aux différents taxons anthracologiques illustrés dans le tableau de synthèse précédent (Fig. 14).



Fig. 16 – Fragment de chêne (*Quercus* sp.). Coupe transversale. Forte courbure de cerne. Grossissement x7. Prélèvement n°2022-067 /168. L'échelle représente des millimètres.

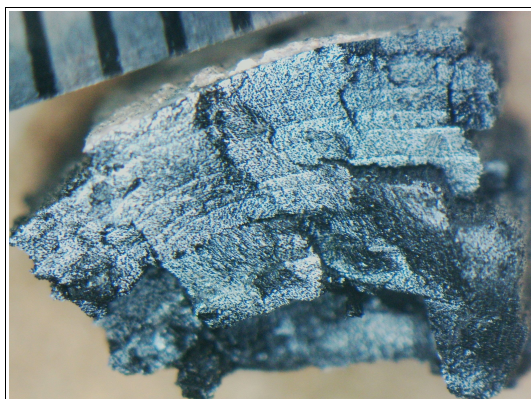


Fig. 17 – Fragment de Pomoidée de forte courbure de cerne. Coupe transversale. Grossissement x14 Prélèvement n°2022-067/251. L'échelle représente des millimètres.

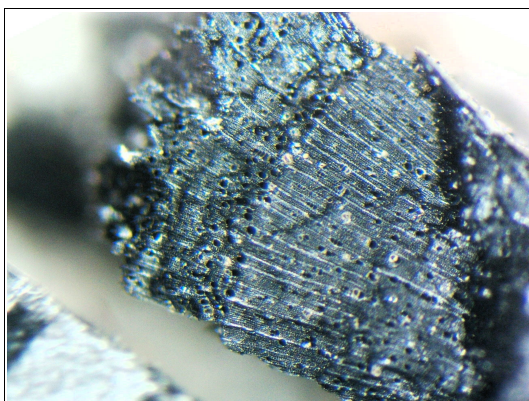


Fig. 18 – Fragment de bourdaïne (*Frangula alnus*) de forte courbure de cerne. Coupe transversale. Grossissement x40 Prélèvement n°2022-067/241. L'échelle représente des millimètres.

4 Bibliographie

BEUG H.-J., 2004 - *Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete*. Publisher Verlag Friedrich Pfeil, Munich, 542 p.

BLAIZOT F., FABRE L., WATTEZ J., VITAL J., COMBES P., 2004 - *Un système énigmatique de combustion au Bronze moyen sur le plateau d'Espalem (canton de Blesle, Haute-Loire)* In: Bulletin de la Société préhistorique française. tome 101, N. 2. pp. 325-344.

BOULEN M., COURT-PICON M., 2018 - Les sanctuaires gaulois et gallo-romains dans leur environnement : apport des analyses polliniques réalisées dans le nord de la France et la Belgique. *Revue archéologique de Picardie*, Direction régionale des antiquités historiques de Picardie ; Centre de recherches archéologiques de la vallée de l'Oise, Actes du colloque "Sacree Science", pp.39-51.

BOULEN M., COCU J.-S., COUBRAY S., DERREUMAUX M., LECOMTE-SCHMITT B., LEPETZ S., ROUSSEAU A., YVINEC J.-H., 2018b - L'environnement végétal d'un lieu de culte d'époque romaine à Nesle - Mesnil-Saint-Nicaise « Fond de Quiquery » (Somme). *Revue archéologique de Picardie*, Direction régionale des antiquités historiques de Picardie ; Centre de recherches archéologiques de la vallée de l'Oise, Actes du colloque "Sacree Science", pp.267-286.

CHABAL L., FABRE L., TERRAL J.-F., THERY-PARISOT I., 1999 - L'anthracologie In : FERDIERE A. (Dir.), *La botanique*. Collection archéologiques, Editions Errance, Paris, p. 43-104.

COUTEAUX M., 1970 - Etude palynologique des dépôts quaternaires de la Vallée de la Sûre à Echternach et à Berdorf et de la Moselle à Metert. Archeological Institute of Grand-Duchy of Luxembourg, 34, 297-336.

COUTEAUX M., 1969 - Recherches palynologiques en Gaume, au pays d'Arlon, en Ardenne méridionale (Luxembourg Belge) et au Gutland (Grand-Duché de Luxembourg). Acta Geographica Lovaniensia, vol.8, Université Catholique de Louvain, 193 p.

CUGNY C., 2011 - Apport des microfossiles non-polliniques à l'histoire du pastoralisme sur le versant nord pyrénéen. Entre référentiels actuels et reconstitution du passé. Thèse de doctorat, Université Toulouse 2 Le Mirail, 2 vol., 373 p.

DUFRAISSE A., GARCIA MARTINEZ M.-S., 2011 - Mesurer les diamètres du bois de feu en anthracologie. Outils dendrométriques et interprétation des données. ANTHROPOBOTANICA, 2, 16p.

GUIOT J., COUTEAUX M., 1992 - Quantitative climate reconstruction from pollen data in the Grand Duchy of Luxembourg since 15000 yr BP. Journal of Quaternary Science, Vol. 7, p. 303-309.

GAUDIN L. 2004. - *Les transformations spatio-temporelles de la végétation du nord-ouest de la France depuis la fin de la dernière glaciation. Reconstitutions paléo-paysagères*. Thèse de doctorat, Université de Rennes 1, Rennes, 768 p.

GAUDIN L., 2017 - Réalisation et description de diagrammes polliniques sur la base des analyses réalisées par J. Heim en 1992. Opérations archéologiques de la grotte diacase de Waldbillig - Karelslé, Luxembourg, 27p + 4p.

GAUDIN L., 2019a - Bilan des études archéobotaniques luxembourgeoises holocènes publiées entre les années 1950 et 2018. Bulletin du centre national de recherche archéologique, 2019-5, 4-19.

GAUDIN L., 2019b - Analyse palynologique de la grotte diacase de la « Karelslé » (Waldbillig). Reprise et interprétation des observations effectuées par J. Heim en 1992. Bulletin du centre national de recherche archéologique, 2019-5, 20-53.

GAUDIN L., 2021 - Analyses palynologiques de 27 prélèvements réalisés en stratigraphie sur la coupe témoin de la grotte diacase de la « Karelslé » sur la commune de Waldbillig (Luxembourg). Octobre 2021. 39 p. (Destinataire public : Centre National de Recherche Archéologique – Service d'archéologie préhistorique. RO. M. Brou, Dir. M. Le Brun-Ricalens).

GAUDIN L., 2024a - Analyses anthracologiques de prélèvements réalisés lors de l'opération archéologique du site de Granzegebur sur la commune de Grevenmacher (Luxembourg). Opération 2022.067 / 397. 94p.

- GAUDIN L., 2024b - Analyses anthracologiques de prélèvements réalisés lors de l'opération archéologique du site de Potaschberg sur la commune de Grevenmacher (Luxembourg). Opération 2023.048. 36p.
- GAUDIN L., 2025a – Rapport de tests palynologiques de 9 prélèvements réalisés lors de l'opération du site « Granzegebur » sur la commune de Grevenmacher (Luxembourg). Opération : 2022.067. INRA Service d'archéologie protohistorique. 18p.
- GAUDIN L., 2025b – Analyses anthracologiques de prélèvements réalisés lors de l'opération archéologique du site de « Buergruef » sur la commune de Grevenmacher (Luxembourg). Opération 2024.139. 32p.
- HALL S.A., 1981 – Deteriorated pollen grains and the interpretation of quaternary pollen diagrams. *Review of palaeobotany and palynology*, 32, pp. 193-206.
- HAVINGA A.-J., 1964 – Investigation into the differential corrosion susceptibility of pollen and spores. *Pollen et spores*, VI (2), pp. 621-635.
- HAVING A.J., 1984 – A 20-year experimental investigation into the differential corrosion susceptibility of pollen and spores in various soil types. *Pollen et spores*, XXVI (3-4), pp. 541-558.
- LE BRUN-RICALES F. 1993 - Les fouilles de la grotte-diacalse « Karelsé », commune de Waldbillig (Grand-Duché de Luxembourg). *Notae Praehistoricae*, 12, 181-191.
- LE BRUN-RICALES F., BROU L., VALOTTEAU F., METZLER J., GAENG C. 2005. *Préhistoire et Protohistoire au Luxembourg*. Les collections du Musée national d'histoire et d'art, 1, 221 p.
- LEESCH D., FABRE M., SCHOCH W.-H., 2017 - Les occupations mésolithiques des abris-sous-roche de Berdorf-Kalekapp 2 (Grand-Duché de Luxembourg). *Dossier d'archéologie du CNRA*, XIX, 237 p.
- LEROYER Ch., 1997 – Homme, Climat, Végétation au Tardi- et Post-glaciaire dans le Bassin Parisien : apport de l'étude palynologique des fonds de vallées. Thèse de doctorat, Université de Paris I, 2 volumes. 786 p.
- LEZINE A.-M., 2009 – *Le pollen. Outil d'étude de l'environnement et du climat Quaternaire*. Société Géologique de France, Paris, 118 p. (Collection Interactions).
- MARCOUX N., 2009 - Les bois utilisés comme combustible dans l'atelier gallo-romain de réduction du minerai de fer in SARRESTE F., Archéologie dans le Silléen, Rapport d'opérations archéologiques programmées. Roche-Brune (Pezé-le-Robert, Sarthe). p. 20-39.
- MARGUERIE D., 1992 - *Évolution de la végétation sous l'impact humain en Armorique du Néolithique aux périodes historiques*. Travaux du Laboratoire d'Anthropologie Rennes, 40, 262 p.
- MARGUERIE D., HUNOT J.-Y. 2007 – *Charcoal analysis and dendrology : data from archaeological sites in north-western France*. *Journal of Archaeological Science*. pp. 1417-1433
- MARGUERIE D., BERNARD V., BEGIN Y., TERRAL J.-F., 2010 – Dendroanthracologie p. 311-347 in PAYETTE S., FILION L., *La Dendroécologie : Principes, méthodes et applications*. Presses de l'Université Laval, Québec
- OILIC J.-C., 2011 – *Végétation, peuplement, métallurgie en Brocéliande : étude interdisciplinaire de la forêt de Paimpont (Bretagne, France) depuis le Tardiglaciaire*. Thèse de doctorat, Université de Rennes 1, 320p.
- PARADIS S. 2007 – *Étude dendro-anthracologique : une approche méthodologique pour l'étude du calibre des bois*. Mémoire de Master 2, université de Dijon, 64 p.
- REILLE M., 1990 – Leçon de palynologie et d'analyse pollinique. CNRS, Paris, 206 pages.
- REILLE M., 1992 - *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord.*, Editions Louis-Jean, Gap, 520 p.
- RULL V., 1987 - « A note on pollen counting in Paleoecology », *Pollen et Spores*, 29 (4), pp. 471-480.
- SCHWENNINGER J.-L. 1989 - Pollen analysis and community structure of Holocene forests : a regional palynological study of the Middle and Upper postglacial from semi-subhydric alder carr sediments at Berdorf (Luxembourg). *Bulletin CNRA*, 89, p. 157

STOCKMARR J., 1972 – Tablets with spores used in absolute pollen analysis. *Pollens et spores*, 13, p. 615-621.

THERY-PARISOT I., 2001 – *Economie des combustibles au Paléolithique*. Dossier de Documentation Archéologiques, 20, CNRS, Paris.

VAN MOURIK J. M., BRAEKMANS D. J. G., DOORENBOSCH M., KUIJPER W. J., VAN DER PLICHT J., 2016 - Natural versus anthropogenic genesis of mardels (closed depressions) on the Gutland plateau (Luxembourg). *SOIL Discussions*. 44p.