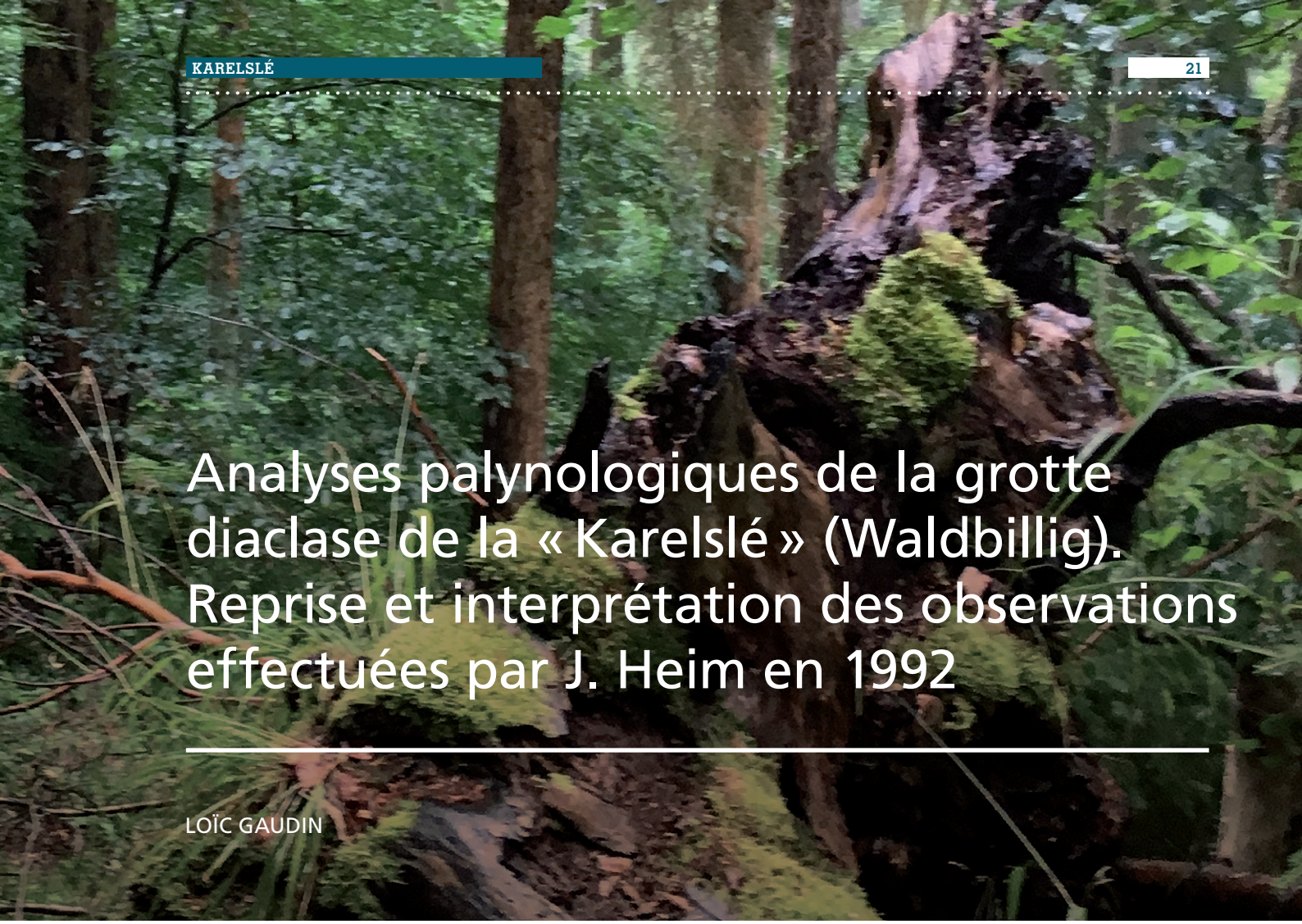
INTRODUCTION

Ce travail est basé sur les résultats d'études palynologiques réalisées par J. Heim en 1992 dans les niveaux archéologiques de la grotte de la « Karelslé », située sur la commune de Waldbillig au centre-est du Luxembourg. Ces résultats étaient restés jusqu'alors inédits.

La cavité se situe sur la rive gauche de l'Ernz Noire, à 280 m d'altitude, sur le versant est d'un plateau gréseux. La grotte est le résultat d'une fracturation parallèle à la falaise du bord de plateau, ayant entraîné le basculement d'un pan rocheux. Elle forme un espace d'une quarantaine de mètres de long pour 4 à 5 m de large.

Le site a tout d'abord été fouillé partiellement au début du XX^{e} siècle par N. van Werveke (VAN WERVEKE 1909). L'étude du mobilier archéologique issu des fouilles N. van Werveke et la mise en évidence d'une occupation du Néolithique moyen (Rössen) a motivé la reprise d'une fouille en 1991 sous la direction de F. Le Brun-Ricalens



Analyses palynologiques de la grotte diaclase de la « Karelslé » (Waldbillig). Reprise et interprétation des observations effectuées par J. Heim en 1992

LOÏC GAUDIN

(LE BRUN-RICALENS 1993; LE BRUN-RICALENS, VALOTTEAU 2007). Environ 32 m² ont été fouillés de 1991 à 1998, révélant une séquence stratigraphique de près de 6 m dans certains secteurs. Les fouilles livrèrent un important mobilier archéologique en plus d'ossements, de graines carbonisées et de fragments de charbon qui permirent de dater les couches archéologiques. 25 unités stratigraphiques ont été reconnues. Elles sont datées entre le Mésolithique ancien et le Moyen Âge. On note néanmoins un important hiatus entre le Mésolithique ancien et le Néolithique Moyen *(Fig. 1)*.

COUCHES	ATTRIBUTIONS CHRONOLOGIQUES	MÉTHODE DE DATATION
Couches 6 à 10	Haut Moyen Âge, Gallo-romain	Mobilier archéologique
Couches 11 à 13	Âge du fer	Mobilier archéologique et datation radiocarbone (800 à 510 Cal. BC)
Couches 15 et 16	Bronze final (IIb-IIIa)	Mobilier archéologique
Couche 17	Bronze ancien au Néolithique récent	Mobilier archéologique et datations radiocarbone (3970 à 3760 Cal. BC)
Couche 18 à 20	Néolithique moyen (culture Rössen)	Mobilier archéologique et datations radiocarbone (4350 à 4950 Cal. BC)
Couche 21 à 25	Mésolithique ancien	Mobilier archéologique et datations radiocarbone

(Fig. 1) ____ Tableau de correspondance entre les couches archéologiques et la chronologie du comblement de la grotte-diaclase de Waldbillig-« Karelslé ».

1. CONTEXTE ET MÉTHODOLOGIE

1.1. LE CONTEXTE DE L'ÉTUDE POLLINIQUE ET LES DIFFICULTÉS MÉTHODOLOGIQUES

L'importance de la stratigraphie constatée, la richesse et la diversité des vestiges conservés qui plus est dans un milieu confiné, confèrent à la cavité un grand intérêt scientifique. Plusieurs analyses archéoscientifiques ont été entreprises à l'époque par la section Préhistoire du Musée national d'histoire et d'art de Luxembourg. En plus du mobilier lithique, céramique, osseux, le site a livré des vestiges végétaux nécessitant la mise en œuvre d'analyses archéobotaniques.

En 1992, J. Heim réalisa plusieurs séries de prélèvements pour des analyses palynologiques. 39 échantillons répartis en quatre colonnes stratigraphiques ont été traités pour procéder à des extractions polliniques. Les prélèvements ont été réalisés directement dans différents plans stratigraphiques en procédant le plus souvent à un prélèvement par unité stratigraphique (US). J. Heim procéda ensuite aux extractions (protocole non transmis) et aux observations. Seuls les tableaux de fréquences des pollens nous sont parvenus, l'étude n'ayant pas été finalisée.

Les fragments de charbons extraits au cours des fouilles ont quant à eux été étudiés par J.-M. Pernaud (PERNAUD 2001). L'étude anthracologique permit d'obtenir des informations sur l'environnement végétal ligneux des périodes du Mésolithique ancien, du Néolithique moyen et de l'Âge du Bronze final.

Si des analyses palynologiques sont régulièrement tentées en contexte de grotte, elles livrent assez souvent des résultats incomplets ou décevants. Même si quelques sites ou contextes font exception : études polliniques de spéléothèmes sur le site de l'Arago à Tautavel (Pyrénées-Orientales, France), au Lazaret (Alpes-Maritimes, France) (LEBRETON *et al.* 2007), la grotte-bergerie d'Antonnaire (ARGANT *et al.* 1991), la grotte de Scladina (BASTIN *et al.* 1986), etc...

Le contexte atypique des cavités rend la compréhension des dynamiques sédimentaires et des dépôts polliniques complexe. De nombreux facteurs peuvent introduire des biais dans les spectres polliniques (SÁNCHEZ-GOÑI 1996) et sont à prendre en compte lors de l'interprétation des résultats : dynamiques périglaciaires impactant les dépôts sédimentaires, taphonomie des pollens, processus de déposition (apports atmosphériques, apports par ruissellement, apports par les animaux ou par les activités humaines). Les sédiments à dominance minéral des comblements sont généralement peu favorables à la conservation pollinique. Très souvent les compositions polliniques constatées sont peu diversifiées, pauvres et sujettes à d'importantes distorsions liées à des conservations différentielles de certains pollens comme les Cichorioïdeae (RICHARD 1999). De façon générale, « les séquences archéologiques en grotte ne sont donc pas de bons enregistreurs climatiques » (SÁNCHEZ-GOÑI 1996 : 7).

Mais étonnamment, les comptages effectués à la « Karelslé » par J. Heim montrèrent une diversité taxonomique intéressante (plus de 50 taxons détectés). Les diagrammes polliniques réalisés à partir des comptages (Figures 5, 6, 7 et 8) permirent de restituer des dynamiques végétales à priori cohérentes, rendant une interprétation paléoenvironnementale possible.

Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes concentrés sur les niveaux holocènes s'échelonnant entre le Néolithique moyen et le Moyen Âge ***(Fig. 1)***, mais des niveaux antérieurs, mésolithiques, ont aussi fait l'objet de prélèvements.

1.2. LES DIAGRAMMES SPORO-POLLINIQUES ET DIAGRAMMES D'ANTHROPISATION

Les données fournies par J. Heim correspondent aux fréquences des différents taxons polliniques identifiés pour chaque prélèvement. Ce sont ces données que nous avons enregistrées dans le tableur du logiciel Tilia (Version 2.0.41., 2015). Aucun protocole visant à calculer des concentrations absolues n'a semble-t-il été mis en place (par exemple absence de comptages de spores de Lycopodes exotiques).

La question de la prise en compte des spores dans la somme de base n'est pas sans poser quelques problèmes. L'exemple de *Sphagnum sp.* a été étudié par J. Heim (HEIM 1970) qui a constaté que la production de spores de sphaigne pouvait varier sans concordance évidente avec le couvert végétal du site considéré. Plus généralement, les Ptéridophytes et les Bryophytes présentent une sporulation souvent difficile à interpréter. Aussi, les spores sont généralement exclues de la somme de base (VOETZEL 1987 ; BARBIER 1999 ; OUGUERRAM 2002 ; GAUTHIER 2000). Dans le cadre de cette étude, les caractéristiques de production et de dispersion des spores étant différentes des caractéristiques polliniques, les spores ont donc aussi été exclues de la somme de base. Les diagrammes sont réalisés à partir des pourcentages fournis par J. Heim et les échantillons analysés apparaissent en lignes (Figures 5, 6, 7 et 8).

Sur ces diagrammes figurent de la gauche vers la droite :

- En ordonnée du diagramme apparaissent la liste des échantillons (désignés par les lettres « PAL » suivi du numéro de prélèvement) ou bien la profondeur si l'information est disponible,

- la lithologie de la séquence sédimentaire correspondant aux unités stratigraphiques,

- l'ensemble des fréquences relatives de chaque taxon d'arbre puis des arbustes déterminés lors du comptage,

- un diagramme de type « Iversen », synthétisant les taux de pollens d'arbres (Pollen Arborescent : PA) vis à vis des pollens d'herbacées (Pollen Non Arborescent : PNA). La courbe continue « Somme des pollens d'arbres » / « Somme des herbacées » permet d'estimer l'évolution des parts relatives des végétations boisées vis-à-vis des végétations herbacées dans le paysage environnant,

- les courbes individuelles continues en pourcentages relatifs des taxons polliniques de plantes herbacées. Au sein des herbacées, les taxons sont ordonnés par leurs affinités écologiques,

- les courbes individuelles continues des spores de Ptéridophytes, puis des Bryophytes (à partir des monolètes),

- la zonation : construite à partir des variations polliniques. Afin de faciliter l'interprétation d'une séquence pollinique, il est coutumier de regrouper les échantillons en zones. On distingue les zones d'assemblages polliniques, les phases écologiques, les chronozones. Enfin, en présence de suffisamment de repères chronologiques (grâce aux datations absolues notamment), une chronologie archéologique et/ou historique est disposée sur le côté droit du diagramme.

- *Les zones d'assemblages polliniques (ou zonations locales) :*

Ce premier degré de zonation est établi en fonction de la variation du pourcentage d'au moins deux taxons locaux (CUSHING 1963). Elles sont désignées par les lettres de l'alphabet (a, b, c...). Ces zonations locales permettent d'estimer l'évolution de la végétation locale autour du sondage pollinique.

- *Les phases écologiques :*

Ce niveau hiérarchique de la zonation est composé des zones d'assemblages polliniques. Il est établi en fonction de la variation significative des taxons dominants et permet ainsi d'appréhender l'évolution des formations végétales majeures. Leurs dénominations sont généralement exprimées par les trois premières lettres en majuscules du site considéré, suivies d'un chiffre. Dans les quatre séquences étudiées, le nombre de niveaux est relativement faible (13 niveaux au maximum dans la colonne 2). Aussi, nous n'obtenons pas d'évolution suffisamment « fine » pour établir des regroupements de zones polliniques. Dans les séquences étudiées, les phases écologiques se confondent avec les zones d'assemblages polliniques.

- *La chronologie archéologique et/ou historique :*

Celle-ci va là aussi dépendre pour partie des datations ^{14}C obtenues (seuls repères chronologiques indépendants). Elle permet de mettre en corrélation les constats archéobotaniques (l'évolution des paléo-végétations) avec l'évolution climatique (connue par d'autres analyses) et les événements archéologiques – historiques. Elle prend tout son sens à partir du moment où l'impact humain sur le paysage végétal peut être identifié en terme de signature pollinique (par exemple baisse du taux de pollens d'arbres, introduction de taxons allochtones, développement de taxons favorisés par la présence humaine), c'est à dire surtout à partir de la période climatique de l'Atlantique. Dans le cadre de cette étude, nous disposons d'une chronologie basée sur la reconnaissance des couches archéologiques ***(Fig. 1)***.

- *Les chronozones :*

Cette zonation repose sur les phases écologiques et les datations radiocarboniques absolues. Il s'agit donc d'une chronologie absolue (PUERTAS 1997) permettant de resituer l'ensemble des séquences par rapport aux périodes climatiques régionales. La reconnaissance de ces chronozones nécessite une étude bibliographique régionale. Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes référés aux travaux de van Mourik (VAN MOURIK *et al.* 2016) concernant l'étude pollinique du marais de « Dauwelsmuer ». Nous avons cherché des correspondances avec les chronozones utilisées dans cette étude afin d'identifier les grandes périodes climatiques (Atlantique, Subboréal, Subatlantique) ***(Fig. 2 et 3)***.

- *un dendrogramme réalisé à l'aide du programme CONISS*

En plus des zonations établies sur la lecture du contenu pollinique, il est intéressant de déterminer des zones polliniques de façon statistique en se basant sur les fluctuations significatives des courbes polliniques des taxons herbacés (spores et cypéracées exclues). Pour cela, à titre informatif et en complément de la lecture pollinique, nous avons réalisé un dendrogramme à l'aide du programme CONISS du logiciel Tilia (GRIMM 1987). Parmi les calculs disponibles pour construire ce dendrogramme, nous avons retenu la méthode *Edwards & Cavalli's chord distance* ou distance harmonique, jugée la plus pertinente (GRIMM 1987).

En vue de simplifier l'interprétation des résultats polliniques, il est désormais courant d'avoir recours à des diagrammes d'anthropisation. Ce sont des diagrammes polliniques simplifiés dans lesquels apparaissent les courbes cumulant les pourcentages des principaux taxons liés aux activités agro-pastorales ou indices polliniques d'anthropisation (IPA). La fiabilité de ces indices est attestée par de nombreux travaux (BEHRE 1981 ; FAEGRI, IVERSEN 1989 ; RICHARD 1999 ; GAUTHIER 2000 ; BARBIER 1999).

Les indices polliniques d'anthropisation (IPA) retenus pour cette étude sont :

- les grains de pollen des plantes cultivées par l'homme : il s'agit dans notre cas des pollens de céréales.

- les grains de pollen de plantes autochtones mais favorisées par les activités humaines. Il s'agit d'une part des plantes adventices ou messicoles correspondant aux végétaux associés aux cultures (*Centaurea sp.*, Papaveraceae). Les plantes rudérales correspondent aux autres plantes favorisées par les activités humaines : zones piétinées, espaces eutrophisés (*Plantago sp.*, Polygonaceae, Brassicaceae, *Chenopodium sp.*, Caryophyllaceae, *Artemisia sp.*, Asteraceae, Cichorioideae, Apiaceae, Ranunculaceae, *Potentilla sp.*, Convolvulaceae, Fabaceaea).

À ces indices, nous avons ajouté :

- la courbe du taux de pollens de callune (*Calluna sp.*) indicateur de landes,

- une courbe représentant le nombre de taxons polliniques identifiés pour chaque niveau. En effet, la diversité pollinique peut être un indicateur des « perturbations » des dynamiques végétales, perturbations potentiellement associées aux activités humaines (GAUDIN 2004).

Dans ces graphiques simplifiés sont aussi représentés sur la gauche les courbes des principaux taxons d'arbres et le diagramme des taux de pollens d'arbres (AP) vis à vis des pollens d'herbacées (NAP) ***(Fig. 3)***.

Remarques :

Lorsqu'un taxon est égal à 0,1% ou moins en pourcentage relatif, il est matérialisé sur le diagramme par un point.

Les datations par le radiocarbone n'ont pas été positionnées car elles n'ont pas été réalisés en relation immédiate avec les prélèvements. En revanche, nous disposons d'un tableau synoptique des diverses cultures et périodes attribuées pour les différentes couches archéologiques représentées dans la cavité ***(Fig. 1)***.

2. RÉSULTATS

Chacune des quatre séries de prélèvements a fait l'objet de restitutions graphiques sous la forme de diagrammes polliniques (voir diagrammes 5, 6, 7 et 8 en annexe).

Afin de synthétiser les résultats nous avons tout d'abord décrit les résultats par zone d'assemblage pollinique (voir chapitre ci-dessous) puis rechercher des correspondances entre les dynamiques végétales des quatre diagrammes (voir tableau de correspondance entre zones polliniques, ***Fig. 2***).

2.1. DESCRIPTION DES COMPOSITIONS POLLINIQUES DES QUATRE COLONNES STRATIGRAPHIQUES

- Colonne 1 (WAL1 : prélèvements PAL 30 à PAL 39)

- WAL1 Zone a (PAL 30, PAL 31, PAL 32)

Le taux de pollens d'arbres est très important, de l'ordre de 90 %. Ce sont principalement des pollens de noisetier (*Corylus sp.*) avec environ 60 % de la composition pollinique. Dans une moindre mesure les pollens de tilleul (*Tilia sp.*), pin (*Pinus sp.*), aulne (*Alnus sp.*), orme (*Ulmus sp.*) et chêne (*Quercus sp.*) composent les végétations d'arbres. Ce sont donc des végétations forestières qui dominent le paysage.

Même si les spectres sont marqués par la forte présence du noisetier, probablement présent à proximité du site, l'association des taxons d'arbres correspond à la chênaie diversifiée (*Quercus sp.*, *Ulmus sp.*, *Tilia sp.*, *Corylus sp.*).

Les pollens de pin sont observés de façon non négligeable (fréquence de l'ordre de 15 %). C'est un taxon qui combine une production et une dispersion pollinique forte, aussi il est délicat d'interpréter la présence de ce taxon dans les environs immédiats du site. Il est néanmoins présent dans le paysage.

Les pollens d'aulne proviennent de boisements hygrophiles situés probablement en contrebas du site.

Quelques rares pollens d'herbacées sont détectés (Apiaceae), mais les pollens de Poaceae sont absents. Quelques pollens de céréales sont détectés dans le prélèvement 30.

- WAL1 Zone b (PAL 33)

Cette zone est caractérisée par une légère baisse du taux de pollens d'arbres, qui reste toutefois élevé (environ 80 % de la somme totale).

La composition pollinique des arbres reste dominée par le noisetier qui subit cette légère baisse. Il a probablement été concurrencé par le bouleau (*Betula sp.*), taxon tout autant ubiquiste, dont la fréquence pollinique montre à l'inverse un léger développement.

On retrouve les taxons d'arbres significatifs de la chênaie diversifiée avec le tilleul, le chêne et l'orme.

Le pin est toujours présent avec des fréquences polliniques stables, autour de 15 %.

Notons l'apparition du frêne (*Fraxinus sp.*) et du hêtre (*Fagus sp.*).

Le frêne, taxon mésophile à mésohygrophile est probablement associé à l'aulne au niveau des boisements ripicoles mais aussi à la chênaie.

L'attestation du hêtre est plutôt caractéristique de conditions d'humidité atmosphériques élevées, probablement localisées.

Les végétations herbacées sont perceptibles. Peut-être à l'occasion d'une ouverture de la végétation arborescente dans les environs immédiats de la grotte. Ainsi, on observe quelques pollens de Poaceae accompagnés d'attestations typiques de formations de friches (*Crepis sp.*, *Artemisia sp.*, Caryophyllacées, *Chenopodium sp.*, Brassicaceae) et de prairies mésophiles pâturées (*Plantago sp.*, *Centaurea sp.*, Ranunculaceae, *Calluna sp.*).

Aucune occurrence pollinique de culture n'est observée.

Les taux de spores de Monolètes et de *Polypodium sp.* sont importants dans cette zone. Ils sont difficilement interprétables compte tenu des sporulations souvent aléatoires de ces végétaux.

- WAL1 Zone c (PAL 34)

Le taux de pollens d'arbres est de nouveau très important puisqu'il approche les 100 %. On retrouve la dominance du noisetier (environ 75 %) accompagné des pollens caractéristiques de l'association de la chênaie diversifiée (*Quercus sp.*, *Ulmus sp.*, *Tilia sp.*, *Corylus sp.*) et des boisements hygrophiles représentés par l'aulne (*Alnus sp.*).

La fréquence des pollens de pin diminue progressivement à environ 10 %.

Le bouleau, le frêne et le hêtre ne sont plus détectés.

Les pollens de plantes herbacées sont rares mais les associations de prairies mésophiles (Poaceae,

Plantago sp., *Centaurea sp.*, Ranunculaceae) et de friches (Poaceae, Asteraceae, Brassicaceae) semblent toujours présentes dans le paysage. Les indices d'activités humaines sont absents.

- WAL1 Zone d (PAL 35)

La zone pollinique se caractérise par des taux de pollens d'arbres faibles, de l'ordre de 25%, contrastant avec la zone c. C'est donc une composition pollinique d'un paysage plus ouvert qui est enregistrée au sein de cette zone.

Le noisetier est toujours le taxon arborescent dominant même s'il est en nette régression. On retrouve l'association de la chênaie diversifiée avec le chêne, l'orme et le tilleul. L'aulne est aussi présent, caractérisant un boisement hygrophile, probablement dans la vallée.

La fréquence du pin régresse nettement. On détecte la présence du bouleau (*Betula sp.*).

La forte diminution des fréquences polliniques d'arbres s'accompagne d'une augmentation de la diversité des pollens de plantes herbacées.

Plusieurs associations peuvent être identifiées : l'association de friches est bien représentée avec les pollens de Poaceae, Asteraceae, *Crepis sp.*, *Cirsium sp.*, armoise (*Artemisia sp.*), Brassicacées, Ranunculaceae. On retrouve l'association de prairies hygro à mésophiles pâturées (Poaceae, Cyperaceae, Rubiaceae, *Plantago sp.*, Asteraceae, Brassicaceae, Dipsacaceae, Fabaceae, *Filipendula sp.*, *Calluna sp.*) et peut être l'apparition de landes (*Calluna sp.*).

Quelques pollens de céréales accompagnés d'attestations de *Centaurea sp.*, considérée comme une adventice et caractérisée par un taux très important (de l'ordre de 50 %), sont probablement la conséquence de pratiques agraires.

- WAL1 Zone e (PAL 36, PAL 37)

Le taux de pollens d'arbres apparaît faible oscillant entre 25 et 10 %, valeurs généralement typiques de paysages « ouverts ».

Le chêne est le taxon dominant parmi les arbres. Il est associé au noisetier (*Corylus sp.*), au tilleul (*Tilia sp.*), à l'orme (*Ulmus sp.*), mais aussi à l'érable (*Acer sp.*) et au hêtre (*Fagus sp.*). En revanche, le pin (*Pinus sp.*) n'est plus enregistré. Au regard de ces résultats, deux types de formations forestières semblent coexister : la chênaie diversifiée (*Quercus sp.*, *Tilia sp.*, *Ulmus sp.*, *Corylus sp.*) et désormais aussi la chênaie-hêtraie (*Quercus sp.*, *Fagus sp.*, *Acer sp.*) caractéristique de conditions climatiques atmosphériques plus humides et plus fraîches.

Quelques pollens d'aulne (*Alnus sp.*) associés au saule (*Salix sp.*) témoignent de boisements hygrophiles.

En ce qui concerne les végétations herbacées, plusieurs associations peuvent être discernées. On constate les groupements de cultures (Cerealia type, *Centaurea sp.*, *Polygonum aviculare*, Chenopodiaceae, *Rumex sp.*, Papaveracea), de friches et jachères (Poaceae, *Cirsium sp.*, *Crepis sp.*, *Artemisia sp.*, Chenopodiaceae, Lamiaceae), de prairies mésophiles à hygrophiles pâturées (Poaceae, Cyperaceae, *Plantago sp.*, Rubiaceae, Scrophulariaceae, *Calluna sp.*). Des formations de landes peuvent être aussi suggérées avec la détection de taux continus de *Calluna sp.* et des Fabaceae.

Notons l'importance des taux de *Polygonum aviculare* et de *Centaurea sp.*, deux taxons dont le développement a probablement été favorisé par les activités humaines.

- WAL1 Zone f (PAL 38, PAL 39)

La zone pollinique est caractérisée par des taux de pollens d'arbres en augmentation de 25 à 50 %. Le paysage environnant est donc en cours de reboisement.

Le noisetier (*Corylus sp.*) est le mieux représenté suivi de l'aulne (*Alnus sp.*), le tilleul (*Tilia sp.*), le chêne (*Quercus sp.*), le hêtre (*Fagus sp.*), l'érable (*Acer sp.*), le charme (*Carpinus sp.*) et le bouleau (*Betula sp.*). L'orme n'est plus détecté, alors que le charme fait son apparition dans le diagramme. Deux types de formations forestières peuvent être déduites : la chênaie diversifiée (*Quercus sp.*, *Tilia sp.*, *Carpinus sp.*, *Corylus sp.*) et la chênaie-hêtraie (*Quercus sp.*, *Fagus sp.*, *Acer sp.*) faisant écho à des conditions atmosphériques plus humides.

Les groupements d'herbacées sont bien représentés. On détecte l'association végétale des cultures composée des taxons allochtones (*Cerealia type*), de plantes adventices (*Rumex sp.*, *Centaurea sp.*, Papaveraceae) et de plantes rudérales (*Polygonum aviculare*, *Plantago sp.*). Des groupements végétaux de friches et jachères (Poaceae, *Crepis sp.*, *Cirsium sp.*, *Artemisia sp.*, Polygonaceae, *Rumex sp.*, *Polygonum aviculare*, *Lamium sp.*, *Chenopodium sp.*, Caryophyllaceae) et de prairies (Poaceae, Rubiaceae, Scrophulariaceae, *Crepis sp.*, *Cirsium sp.*, *Centaurea sp.*, *Plantago sp.*, *Potentilla sp.*, *Calluna sp.*, Ranunculaceae) sont aussi présents dans le paysage environnant.

L'augmentation des taux polliniques de *Calluna sp.*, évoque un développement des formations de landes (Poaceae, *Calluna sp.*, Fabaceae). Ce résultat pourrait être la conséquence d'une dégradation de sols, peut être en relation avec des pratiques agraires dans les environs.

Le sureau (*Sambucus sp.*) et les genres *Prunus* (prunelliers) et *Cornus* (cornouillers) sont aussi identifiés. Ces taxons correspondent à des formations arbustives de fruticées. Arbres fruitiers potentiels, ils ont pu être favorisés par les activités humaines.

- Colonne 2 (WAL2 : prélèvements PAL 17 à PAL 29)

- WAL2 Zone a (PAL 17)

Les taux de pollens d'arbres sont importants (de l'ordre de 90 %) ce qui correspond à un paysage boisé dans les environs du site.

La composition pollinique comprend le noisetier, taxon dominant, suivi de l'aulne (*Alnus sp.*), du bouleau (*Betula sp.*), du tilleul (*Tilia sp.*), de l'orme (*Ulmus sp.*), du pin (*Pinus sp.*) et du chêne (*Quercus sp.*). Même si les taux du noisetier sont les plus élevés (40 %), l'aulne, le bouleau et le tilleul sont aussi bien représentés avec des valeurs oscillant entre 10 et 20 %.

La chênaie diversifiée est la formation forestière dominante (*Quercus sp.*, *Tilia sp.*, *Ulmus sp.*, *Corylus sp.*). Des boisements hygrophiles sont aussi détectés en fond de vallée (*Alnus sp.*, *Betula sp.*, *Corylus sp.*).

Le pin est probablement présent dans le paysage mais peut aussi avoir une origine lointaine. Les formations herbacées sont peu représentées. Aucun indice d'activité humaine ne peut être déduit.

Les taux de spores de *Polypodium sp.* et de *Dryopteris sp.* sont très importants.

- WAL2 Zone b (PAL 18, PAL 19)

On constate dans cette zone des taux de pollens d'arbres élevés, entre 95 et 80 %, valeurs significatives d'un paysage fermé dans les environs du site.

Parmi les taxons d'arbres, le noisetier est le mieux représenté avec des valeurs comprises entre 60 et 80 % des pollens. Les autres taxons

d'arbres sont détectés sous la forme de quelques occurrences (*Pinus sp.*, *Ulmus sp.*, *Fagus sp.*, *Betula sp.*), excepté le tilleul (*Tilia sp.*) et l'aulne (*Alnus sp.*) dont les taux sont de l'ordre de 10 à 15 %.

Même si le chêne n'est plus détecté, l'association des taxons identifiés correspond vraisemblablement à la chênaie diversifiée (tilleul, orme). Les pollens d'aulne proviennent de boisements hygrophiles.

Une occurrence du hêtre est à signaler.

Les taux de pollens de plantes herbacées sont faibles, peut-être à cause de la proximité des végétations de boisement, on devine néanmoins des groupements de cultures (*Cerealia type*), de friches et jachères (Poaceae, *Crepis sp.*, *Cirsium sp.*, Ranunculaceae, Lamiaceae, Geraniaceae) et de prairies (Poaceae, *Plantago sp.*, *Rubiaceae sp.*, Asteraceae).

- WAL2 Zone c (PAL 20, PAL 21)

Les taux de pollens d'arbres sont en baisse, oscillant entre 40 et 70 % à l'intérieur de cette zone. Ces variations sont en partie liées aux taux polliniques du noisetier mais aussi au développement du taux de Poaceae (PAL 20).

On retrouve les groupements de la chênaie diversifiée (*Quercus sp.*, *Tilia sp.*, *Ulmus sp.*, *Corylus sp.*) et des boisements hygrophiles (*Alnus sp.*, *Betula sp.*, *Salix sp.*, *Fraxinus sp.*).

On détecte aussi quelques occurrences de pollens de résineux (*Pinus sp.*) qui pourraient avoir des origines lointaines.

En ce qui concerne les végétations herbacées on constate l'association végétale des cultures (les taux de *Cerealia type* connaissent un pic à 10 %) et des plantes accompagnatrices, *Centaurea sp.*, *Chenopodium sp.*, Polygonaceae, *Plantago sp.*). Les taux de plantains (*Plantago sp.*) sont très importants. Ils sont caractéristiques de végétations ouvertes et piétinées comme par exemple les prairies pâturées (Poaceae, Dipsacaceae, Rubiceae, Ranunculaceae). Des attestations d'Asteraceae, *Crepis sp.*, Chenopodiaceae, Polygonaceae, *Artemisia sp.*, correspondent plutôt à des végétations de friches.

- WAL2 Zone d (PAL 22)

La zone est marquée par un pic du taux de pollens d'arbres (environ 70 %), directement en liaison avec l'évolution des taux de pollens de noisetier. On retrouve la chênaie diversifiée (*Quercus sp.*, *Tilia sp.*, *Ulmus sp.*). Quelques pollens de résineux : pin (*Pinus sp.*) et sapin (*Abies sp.*) sont aussi détectés. Les boisements hygrophiles sont aussi perçus par l'intermédiaire de l'aulne (*Alnus sp.*). Les végétations herbacées sont proches de celles détectées dans la zone c, avec des associations de cultures (Cerealia type, *Centaurea sp.*, *Chenopodium sp.*), de friches et jachères (Asteraceae, *Crepis sp.*, *Artemisia sp.*) et les prairies pâturées (Poaceae, Dipsacaceae, Rubiaceae, Ranunculaceae).

- WAL2 Zone e (PAL 23, PAL 24, PAL 25)

La zone pollinique est caractérisée par une légère baisse des taux de pollens d'arbres (environ 40 %). En revanche la composition pollinique de la végétation arborescente change nettement, puisque plusieurs taxons font leur apparition : le charme (*Carpinus sp.*), le hêtre (*Fagus sp.*), l'érable (*Acer sp.*). Les taux de noisetier sont en diminution (10 à 20 %).

L'apparition du charme pourrait marquer la transition entre le Subboréal et le Subatlantique (ou entre le Bronze Final et le Hallstatt) (GAUTHIER 2004).

Deux formations arborescentes semblent coexister : la chênaie diversifiée (*Quercus sp.*, *Tilia sp.*, *Carpinus sp.*, *Ulmus sp.*) et la chênaie-hêtraie (*Quercus sp.*, *Fagus sp.* et *Acer sp.*).

Des pollens d'aulne, voire de frêne proviennent de boisements hygrophiles ou de friches évoluées (*Quercus sp.*, *Ulmus sp.*, *Alnus sp.*, *Fraxinus sp.*, *Fagus sp.*, *Corylus sp.*, *Acer sp.*).

Les végétations herbacées apparaissent plus diversifiées. On devine l'association végétale des cultures avec les attestations de céréales (*Cerealia type*), d'adventices : *Centaurea sp.*, Papaveraceae et de rudérales : *Plantago sp.*, Polygonaceae, Chenopodiaceae. Ces niveaux sont aussi marqués par les forts taux de plantains caractéristiques de sols piétinés. Ainsi, le groupement de friches et jachères (Poaceae, Asteraceae, *Cirsium sp.*, *Artemisia sp.*, Caryophyllaceae, Chenopodiaceae, Lamiaceae, Polygonaceae, Brassicaceae) et le groupement de prairies (Poaceae, *Plantago sp.*, Cyperaceae, Rubiaceae, Scrophulariaceae, Apiaceae, Ranunculaceae, *Calluna sp.*) sont perceptibles.
Les taux importants de callune pourraient aussi correspondre au développement de landes (*Calluna sp.*, Fabaceae, Poaceae, *Polypodium sp.*).

- WAL2 Zone f (PAL 26)

Cette zone correspond à une nouvelle baisse du taux de pollens d'arbres (environ 30 %). On peut donc considérer le paysage autour du site comme un peu plus ouvert.

On retrouve les formations de la chênaie diversifiée (*Quercus sp.*, *Tilia sp.*, *Carpinus sp.*, *Corylus sp.*, *Betula sp.*) et de la chênaie-hêtraie (*Quercus sp.*, *Fagus sp.*, *Betula sp.*). La présence de pollens d'aulne caractérise également la persistance de boisements humides (*Alnus sp.*, *Betula sp.*, *Corylus sp.*). Notons l'absence de l'orme (*Ulmus sp.*) à l'intérieur de ce niveau et la disparition de l'érable (*Acer sp.*).

Les végétations herbacées sont davantage perçues. On constate l'existence de l'association des cultures (*Cerealia type*, *Centaurea sp.*, Papaveraceae, *Plantago sp.*, *Cirsium sp.*, *Crepis sp.*, *Artemisia sp.*, *Potentilla sp.*), des friches et jachères (Poaceae, *Cirsium sp.*, *Artemisia sp.*, *Crepis sp.*, Lamiaceae, Caryophyllaceae). Le taux de plantain est moins important, mais on perçoit toujours l'association de prairies mésophiles pâturées (Poaceae, *Plantago sp.*, Rubiaceae, Apiaceae, *Potentilla sp.*, Ranunculaceae, Lamiaceae, Fabaceae, *Calluna sp.*).

Les formations de landes sont détectées par l'intermédiaire de la callune et des Fabacées dont le taux connaît un pic (40 %) (*Calluna sp.*, Fabaceae, Poaceae, *Polypodium sp.*).

- WAL2 Zone g (PAL 27, PAL 28, PAL 29)

Les taux de pollens d'arbres sont plus importants dans cette zone pollinique (entre 60 et 80 %), ce qui correspondrait à un reboisement des environs du site.

La végétation forestière est composée majoritairement du noisetier (*Corylus sp.*) et du charme (*Carpinus sp.*) dont les taux sont plus importants. En ce qui concerne les différents types de formations forestières on reconnaît la chênaie diversifiée à chêne (*Quercus sp.*), tilleul (*Tilia sp.*), orme (*Ulmus sp.*), noisetier (*Corylus sp.*), bouleau (*Corylus sp.*) et charme (*Carpinus sp.*), mais aussi la chênaie-hêtraie (*Quercus sp.*, *Fagus sp.*, *Corylus sp.*, *Betula sp.*) probablement dans les secteurs plus ombragés.

On note aussi les premières attestations du noyer (*Juglans sp.*) dans le niveaux PAL 28 et PAL 29. L'espèce serait subspontanée dans les forêts alluviales de climat assez doux, elle est notamment sensible aux gelées printanières de la moitié nord de la France (RAMEAU *et al.* 1989). Elle pourrait avoir été introduite durant la transition entre l'Âge du Fer et l'Antiquité.

Les pollens d'aulne (*Alnus sp.*) sont un peu plus fréquemment observés. Ils proviennent probablement de boisements hygrophiles.

Le pin (*Pinus sp.*) et l'épicea (*Picea sp.*) sont aussi détectés, notamment en sommet de profil (PAL 29). Ils sont difficilement interprétables compte tenu de leurs forts pouvoirs de dissémination et de production pollinique.

Plusieurs associations d'herbacées sont perceptibles même si l'ensemble des cultures semble disparaître (absence des pollens de céréales). On détecte le groupement de friches et jachères (*Poaceae*, *Crepis sp.*, *Cirsium sp.*, *Artemisia sp.*, *Centaurea sp.*, Chenopodiaceae, Lamiaceae, Caryophyllaceae, Convolvulaceae) mais aussi l'association des prairies (Poaceae, Plantago sp., Rubiaceae, Apiaceae, *Centaurea sp.*, *Calluna sp.*). Les landes semblent toujours présentes dans le paysage par l'intermédiaire de la callune (*Calluna sp.*) et de fougères (*Pteris sp.*).

- Colonne 3 (WAL3 : prélèvements PAL 1 à PAL 8)

- WAL3 Zone a (PAL 1)

La zone pollinique est très nettement forestière puisque l'on constate 100 % de pollens d'arbres.

Les taux de pollens de noisetier sont les plus nombreux (80 %) suivi du tilleul (*Tilia sp.*), de l'orme (*Ulmus sp.*), de l'aulne (*Alnus sp.*), du bouleau (*Betula sp.*), du saule (*Salix sp.*) et du chêne (*Quercus sp.*).

On peut y reconnaître deux types de boisements : la chênaie diversifiée (chêne, tilleul, orme, noisetier et bouleau) et les boisements hygrophiles (aulne, saule, noisetier, bouleau).

- WAL3 Zone b (PAL 2, PAL 3)

Ces deux niveaux enregistrent de fortes variations du taux de pollens d'arbres. On constate une baisse importante (50 %) suivi d'une remontée (90 %). Cette évolution est en partie associée au noisetier.

Par rapport à la zone a, on constate l'apparition du pin (*Pinus sp.*) et une occurrence du hêtre (*Fagus sp.*). Malgré cette attestation, la chênaie diversifiée (chêne, tilleul, orme, noisetier) semble être la formation forestière dominante.

L'aulne et le saule sont aussi identifiés, probablement depuis un boisement hygrophile.

En ce qui concerne les végétations herbacées, seulement dix taxons ont été identifiés. On constate quelques pollens de céréales accompagnés d'attestations de Poacées, Chenopodiaceae, *Artemisia sp.*, Renonculaceae, *Plantago sp.*, *Crepis sp.*, Caryophyllaceae, Geraniaceae. En plus de groupements de cultures (*Cerealia type*, *Artemisia sp.*, Chenopododiaceae), on peut donc suggérer l'existence de formations de friches (Poaceae, Ranunculaceae, Geraniaceae) et de prairies (Poaceae, *Plantago sp.*, Caryophyllaceae, Ranunculaceae).

- WAL3 Zone c (PAL 4, PAL 5)

La zone c montre d'importants taux de pollens d'arbres compris entre 90 et 100 %, ce qui correspond à un paysage très boisé.

En plus de la chênaie diversifiée (*Quercus sp.*, *Tilia sp.*, *Ulmus sp.*, *Corylus sp.*, *Betula sp.*), on constate des taux faibles de pollens de hêtre en continu, synonymes de la chênaie-hêtraie (*Quercus sp.*, *Fagus sp.*, *Corylus sp.*, *Betula sp.*).

Les boisements hygrophiles sont perceptibles avec l'aulne (environ 10 %).

Malgré la forte représentation des pollens d'arbres, quelques formations herbacées sont perceptibles avec des végétations de friches (Poaceae, *Artemisia sp.*), de prairies pâturées (Poaceae, Rubiaceae, Ranunculaceae, *Calluna sp.*) et peut-être de landes (*Calluna sp.*).

- WAL3 Zone d (PAL 6)

Cette zone, proche de la zone c, se caractérise par l'apparition du charme (*Carpinus sp.*). Le taux du frêne apparaît en continu à partir de ce niveau. De plus, on constate une légère hausse des taux de pollens d'aulne. Ce qui pourrait correspondre à un développement des boisements hygrophiles (*Alnus sp.*, *Fraxinus sp.*)

Les taux de pollens d'arbres sont de l'ordre de 90 % ce qui correspond à un paysage très boisé. On retrouve les deux formations forestières dominantes avec la chênaie diversifiée (*Quercus sp.*, *Tilia sp.*, *Ulmus sp.*, *Carpinus sp.*, *Fraxinus sp.*, *Corylus sp.*, *Betula sp.*) et la chênaie-hêtraie (*Quercus sp.*, *Fagus sp*., *Corylus sp.*, *Betula sp.*).

En ce qui concerne les végétations herbacées, on devine les associations végétales de friches (Chenopodiaceae, *Cirsium sp.*) et de prairies (Poaceae, Caryophyllaceae, *Plantago sp.*, Dipsacaceae, Ranunuculaceae). Les pollens de céréales ne sont plus détectés.

- WAL3 Zone e (PAL 7, PAL 8)

Les taux de pollens d'arbres sont en léger retrait (environ 80 %). On constate les deux formations forestières déjà identifiées dans les zones précédentes : la chênaie diversifiée (*Quercus sp.*, *Tilia sp.*, *Ulmus sp.*, *Fraxinus sp*., *Corylus sp.*, *Betula sp.*) et la chênaie-hêtraie (*Quercus sp.*, *Fagus sp.*, *Corylus sp.*, *Betula sp*.). Notons la disparition des pollens de charme (*Carpinus sp.*), en revanche les taux de frêne (*Fraxinus sp.*) se maintiennent.

La fréquence pollinique de l'aulne, caractéristique de boisements hygrophiles, reste assez élevée (environ 15 %).

Le pin (*Pinus sp.*) est détecté de façon continue (moins de 5 %).

La légère baisse des taux polliniques d'arbres permet de percevoir davantage les végétations herbacées. On constate des associations végétales de cultures (*Cerealia type*, *Centaurea sp.*), de friches et jachères (Poaceae, *Chenopodium sp.*, *Cirsium sp.*, *Crepis sp*., Ranunculaceae, Onagraceae) et de prairies (Poaceae, *Plantago sp.*, Dipsacaceae, Ranunculaceae, Caryophyllaceae).

Notons la détection assez fréquente de l'anémone (*Anemone sp.*) dans le dernier niveau. Ce taxon pourrait correspondre à une plante de sous-bois.

- Colonne 3bis (WAL3bis : prélèvements PAL 9 à PAL 16)

- WAL3bis Zone a (PAL 9, PAL 10)

Les deux premiers niveaux polliniques montrent de forts taux de pollens d'arbres, de l'ordre de 95 à 90 %. Le site est donc environné par un paysage boisé.

La composition pollinique permet d'identifier avant tout la chênaie diversifiée (*Quercus sp.*, *Tilia sp.*, *Ulmus sp.*, *Corylus sp.*, *Betula sp.*).

Le taux de pollens de pin (*Pinus sp.*) est stable autour de 5 %. Il peut avoir une origine lointaine. Notons aussi l'observation de rares pollens de hêtre (*Fagus sp.*).

Les pollens d'aulne (*Alnus sp.*) sont détectés de façon continue. Ils proviennent probablement d'un boisement hygrophile.

Les végétations herbacées sont plus difficiles à décrire. L'association de friches semble néanmoins être présente dans les environs (Poaceae, *Chenopodium sp.*, *Crepis sp.*, *Lamium sp*., *Cirsium sp.*). En revanche, aucune attestation pollinique de plante cultivée n'est observée, seules les quelques occurrences de *Centaurea sp.* pourraient être un indice des activités humaines.

D'importants taux de spores de monolètes ont été comptés (spores de Bryophytes ou Ptéridophytes).

- WAL3bis Zone b (PAL 11, PAL 12)

Presque la totalité du contenu pollinique correspond à des pollens d'arbres (plus de 95 %). Il y a donc une légère hausse du taux de pollens d'arbres par rapport à la zone a. Le noisetier est largement dominant avec environ 75 % des pollens. On reconnaît à nouveau la chênaie diversifiée (*Quercus sp.*, *Tilia sp.*, *Ulmus sp.*, *Corylus sp.*, *Betula sp.*). Une occurrence de hêtre (*Fagus sp.*) est à signaler et le taux du pin est constant, autour de 5 %.

Les boisements hygrophiles sont attestés par l'aulne (environ 5 %) et le saule (*Salix sp.*).
Les végétations herbacées sont peu représentées. On devine des formations de friches (Poaceae, Chenopodiaceae, Caryophyllaceae, Brassicaceae) et de prairies (Poaceae, Rubiaceae, Cyperaceae, Campanulaceae, Ranunculaceae, *Plantago sp.*, Brassicaceae, *Calluna sp.*). Aucune attestation de céréale n'a été détectée.

- WAL3bis Zone c (PAL 13)

La zone est marquée par une baisse brutale des taux de pollens de noisetier (*Corylus sp.*) au profit du tilleul (*Tilia sp.*). Cette inversion de tendance brutale et momentanée est difficilement interprétable en terme paysager. Peut-être est-ce lié à un phénomène local ayant affecté l'apport pollinique à l'intérieur de la grotte. Néanmoins, les taux de pollens d'arbres restent très élevés (environ 95 %), ce qui correspond à priori à un paysage très fermé.

En ce qui concerne les formations forestières, on retrouve la chênaie diversifiée avec le chêne (*Quercus sp.*), le tilleul (*Tilia sp.*), le charme (*Carpinus sp.*), le frêne (*Fraxinus sp.*), le bouleau (*Betula sp.*) et le noisetier (*Corylus sp.*). Notons la détection du charme, mais aussi du noyer (*Juglans sp.*). La présence de ce taxon a pu être été facilitée par les activités humaines. Son observation pose néanmoins question compte tenu du contexte archéologique (la couche 17 correspond à des niveaux néolithiques). Le hêtre est aussi observé par l'intermédiaire d'une seule occurrence. En revanche, l'orme (*Ulmus sp.*) est absent de la composition pollinique.

Quelques pollens de plantes herbacées ont aussi été détectés. On devine des associations de cultures (*Cerealia type*, *Rumex sp.*), de friches et jachères (Poaceae, Asteraceae, *Artemisia sp.*, Caryophyllaceae, Chenopodiaceae). L'observation en continu de pollens de Poaceae, Cyperaceae, Ranunculaceae correspondrait davantage à des groupements de prairies méso- à hygrophiles.

- WAL3bis Zone d (PAL 14 bis et PAL 14)

Le taux de pollens d'arbres est en baisse (environ 70 %) par rapport à la zone c. Le paysage apparaît donc un peu plus ouvert que durant les zones précédentes. Les taux de tilleul retrouvent les valeurs similaires à celles constatées dans les zones polliniques a et b (environ 15 %) au profit du noisetier (entre 30 et 40 %).

Deux formations forestières peuvent désormais être identifiées : la chênaie mixte (*Quercus sp.*, *Tilia sp.*, *Ulmus sp.*, *Carpinus sp.*, *Fraxinus sp.*, *Corylus sp.*, *Betula sp.*) mais aussi la chênaie-hêtraie (*Quercus sp.*, *Fagus sp.*, *Corylus sp.*, *Betula sp.*), caractéristique de conditions atmosphériques plus humides.

Les boisements hygrophiles sont aussi détectés par l'intermédiaire de l'aulne (*Alnus sp.*) et du saule (*Salix sp.*). On note une légère augmentation des taux polliniques de l'aulne durant cette zone.

Les végétations herbacées sont davantage perçues. Les pollens de céréales (*Cerealia type*) sont

détectés en continu, ce qui suggère l'existence de cultures même si aucune attestation de plante accompagnatrice (adventice) n'est observée. De plus, on constate des compositions polliniques typiques de friches et jachères (Poaceae, Asteraceae, *Crepis sp.*, *Artemisia sp.*, Caryophyllaceae, *Chenopodium sp.*) mais aussi de prairies méso- à hygrophiles pâturées (Poaceae, *Plantago sp.*, Dipsacaceae, Rubiaceae, Cyperaceae).

- WAL3bis - Zone e (PAL 15 et PAL 16)

Les taux de pollens d'arbres baissent dans le dernier niveau de la colonne (PAL 16) avec un taux oscillant autour de 50 à 60 %. Le paysage est donc un peu moins boisé que durant les zones précédentes.

De nouveau, on constate les deux formations forestières dominantes avec la chênaie diversifiée (*Quercus sp.*, *Tilia sp.*, *Ulmus sp.*, *Corylus sp.*, *Betula sp.*) et la chênaie-hêtraie (*Quercus sp.*, *Fagus sp.*, *Corylus sp.*, *Betula sp.*).

Les taux de pin (*Pinus sp.*) sont toujours détectés avec des valeurs de l'ordre de 5 %. Il est difficile d'interpréter ces faibles valeurs car les pollens détectés peuvent être issus d'apports lointains.
Des pollens d'aulnes (*Alnus sp.*) permettent de percevoir un boisement hygrophile, probablement localisé en fond de vallée.

Les pollens d'herbacées sont détectés en plus grandes quantités. On constate tout d'abord des pollens de céréales en continu, attestant des pratiques de céréalicultures. Notons néanmoins l'absence de pollens de plantes adventices. En revanche, le groupement de friches et jachères est assez bien caractérisé avec les pollens de Poaceae, *Crepis sp.*, Chenopodiaceae, Lamiaceae, Malvaceae. On reconnaît aussi l'association des prairies méso- à hygrophiles pâturées (Poaceae, *Plantago sp.*, Cyperaceae, Rubiaceae, Ranunculaceae).

Ces niveaux montrent enfin de forts taux de spores de *Polypodium sp.* et de *Dryopteris sp.*.

2.2. CORRESPONDANCES ENTRE LES ZONES POLLINIQUES : SYNTHÈSE DES RÉSULTATS

Afin de synthétiser les résultats des quatre colonnes stratigraphiques, nous nous sommes appuyés sur les descriptions du contenu pollinique et les dynamiques végétales associées, mais aussi sur la correspondance des couches archéologiques. La principale difficulté pour corréler les résultats réside dans des divergences de résolution de l'information pollinique et dans des différences de stratigraphie.

En effet, pour les diagrammes polliniques les moins fournis en échantillons (colonnes 3 et 3bis) les dynamiques végétales décrites montrent des évolutions moins détaillées que pour les colonnes 1 et 2. De fait, la corrélation entre les zones polliniques n'est pas parfaite.

Le tableau de correspondance entre les quatre séries de données permet néanmoins d'approcher les grands traits de la dynamique végétale du paysage environnant le site ***(Fig. 2)***.

Remarques : Pour les colonnes 3 et 3bis, on détecte le charme (*Carpinus sp.*) dès la couche 16 (voire dès la couche 17 dans la colonne 3bis). Parmi les lots céramiques protohistoriques issus des couches 17 et 16, se trouvaient uniquement des formes attribuables au Bronze moyen, au Bronze final et un vase encore plus récent, sans doute Hallstatt ou début La Tène (information K. Zipper). Les couches 16 et 17 semblent donc recouvrir une vaste période englobant la transition entre le Subboréal et le Subatlantique (ou Bronze final/Hallstatt). La détection des pollens de charme, marqueurs du début du Subatlantique, semble donc en cohérence avec l'attribution chronologique des deux couches.

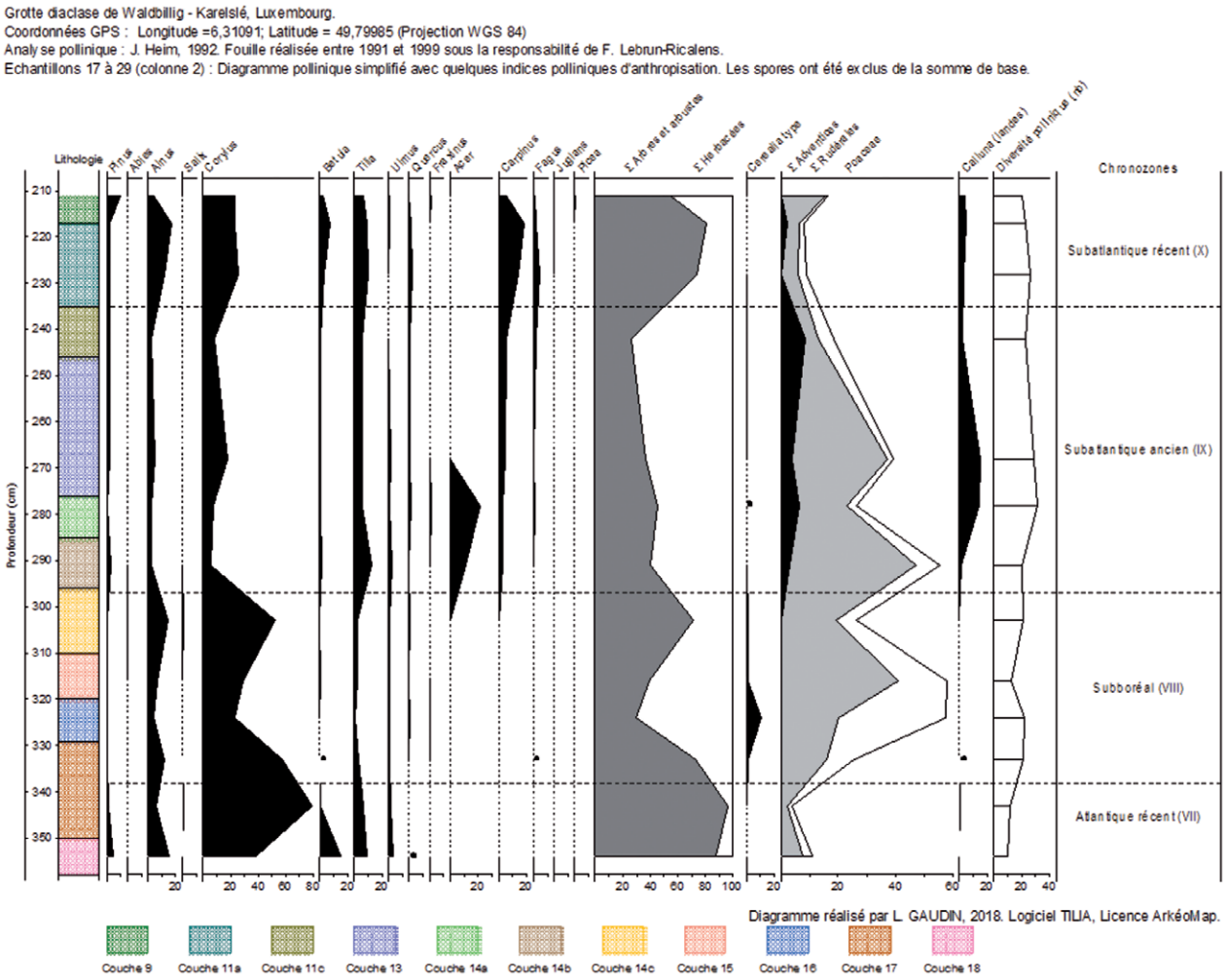
Couches	Prélèvements: PAL	Col 1	Col 2	Col 3	Col 3bis	Chronozones	Chronologie archéologique	États de la végétation	
9, 10, 11, 11a	27, 28, 29, 38, 39,	f	g			**Subatlantique récent (X)**	**Romain**	**Taux de pollen d'arbres fluctuant, en augmentation.** La chênaie diversifiée et la chênaie-hêtraie sont présentes. Notons une légère augmentation du hêtre en début de chronozone. Apparition du **noyer** dans les prélèvements 28 et 29 (colonne 2). Ce taxon pourrait marquer la transition entre l'Age du fer et l'Antiquité. Implantations d'arbres fruitiers (?) (*Prunus sp.*) et peut être du sureau (*Sambucus sp.*) (colonne 1). **Céréalicultures**, friches, jachères, prairies, **landes** (sols dégradés?).	
11c, 12,13,14a, 14b, **colonnes 3 et 3bis: couches 16 et 17**	23, 24, 25, 26, 36, 37, 35	ed	e f				**Age du fer**	**Taux de pollen d'arbres en baisse:** paysage ouvert. **Observation du charme en plus de l'érable. Taux continus du hêtre.** Coexistence de deux formations forestières: **la chênaie diversifiée** et la **chênaie-hêtraie**. On note aussi les formations herbacées de **cultures**, friches, jachères, prairies, **du développement important de landes** à callune (sols dégradés?). RQ. **L'observation du charme** marque la transition entre le Subboréal et le Subatlantique (GAUTHIER 2004) ce qui serait à priori cohérent avec la chronologie archéologique des colonnes 1 et 2 (transition Bronze final / Hallstatt).	
14c, **15,16,17** **colonne 3: 17, 16, 14c, 14b** **colonne 3bis: 16b, 16c, 16a**	34, 22, 20, 21, 4, 5, 6, 7, 8, 15, 16, 14, 14bis	c	d	c d e		**Subboréal (VIII)**	**Bronze final**	Pic du taux de pollen d'arbres (Colonnes 1 et 2), petite augmentation de l'aulne.	**Taux de pollen d'arbres restant globalement élevés avant d'amorcer une baisse en fin de période. Fortes fluctuations.** **Quelques attestations de hêtre** (ex. colonnes 1, 3 et 3bis). Quelques attestations de charme dans les colonnes 3 et 3bis (?) **chênaie diversifiée, chênaie-hêtraie** **Cultures**, friches et jachères, prairies pâturées (forts taux de plantain dans la col.2).
		b	c		d e			Baisse du taux de pollen d'arbres et augmentation des Poacées (Colonnes 1, 2, 3bis passage de la couche 17 à 16)	
16,17,	33, 2, 3, 11, 12, 13, 19			b	b c		**Néolithique final/ Bronze**	**Forts taux de pollen d'arbres**, paysage fermé. **Baisse des taux de tilleul, d'orme et de chêne, quelques occurrences de hêtre.** **Chênaie diversifiée, cultures** (excepté dans la colonne 1), friches et jachères, prairies. Les taux de pollens d'arbres sont fluctuants (50 à 90%) dans la colonne 3.	
18,17	17, 30, 31, 32, 9, 10, 1, 18	a	ab	a	a	**Atlantique récent (VII)**	**Néolithique moyen / récent**	**Forts taux de pollen d'arbres**, paysage fermé. **Chênaie diversifiée ou mixte** (chêne, tilleul, orme, noisetier, bouleau): végétation forestière de l'optimum climatique **Taux de pin** relativement importants (de 10 à 20%) dans les colonnes 1 et 2, **Indicateurs d'activités humaines très ténus** (rares pollens de céréales observés dans le prélèvement 30, colonne1).	

(Fig. 2) —— Correspondances des zones polliniques entre les quatre colonnes stratigraphiques de la grotte diaclase de Waldbillig-« Karelslé ».
La chronologie par période paléoclimatique est basée sur le contenu palynologique.

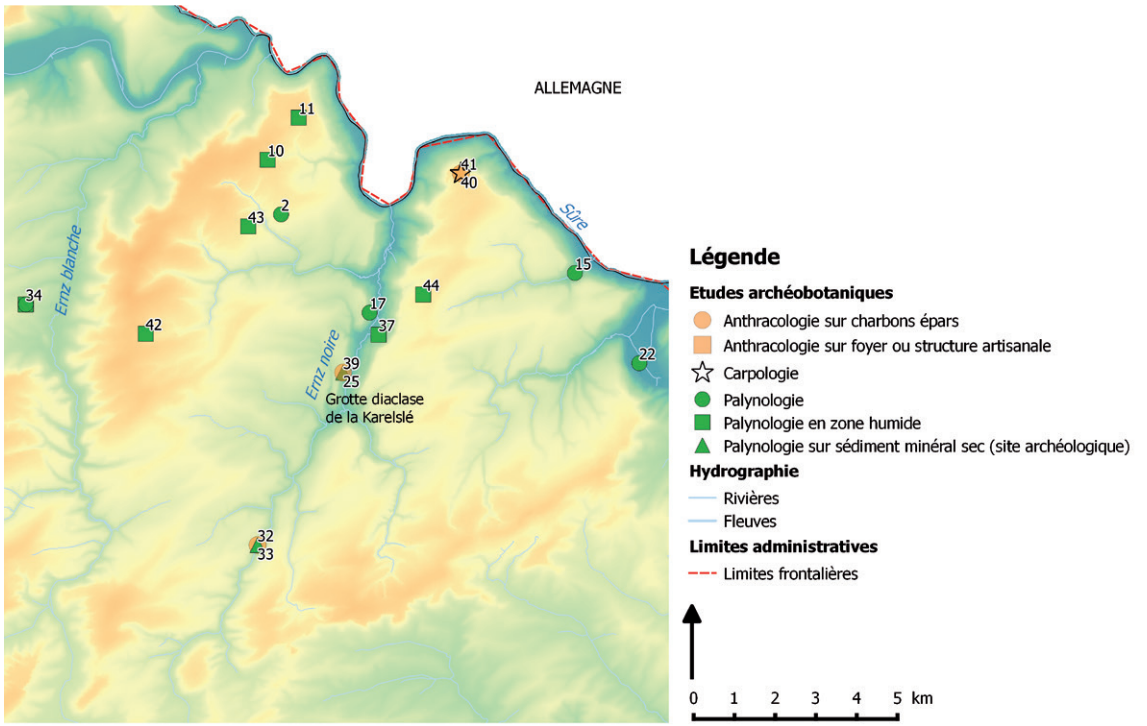
L'enregistrement de la colonne 2 semble la plus intéressante car il montre le plus de détail grâce au nombre d'échantillons plus important et synthétise assez bien les dynamiques obtenues dans les autres diagrammes. Cette séquence étant la plus représentative, en plus d'un diagramme sporo-pollinique ***(Fig. 7)***, nous avons choisi de réaliser un diagramme synthétique simplifié pour la colonne 2 ***(Fig. 3)***. Les chronozones climatiques, déduites du tableau de correspondance et de la bibliographie régionale (par exemple VAN MOURIK 2017) ont été ajoutées dans la partie droite de ce diagramme.

3. INTERPRÉTATION

D'après les résultats synthétisés dans le tableau de correspondance, l'histoire du couvert végétal depuis les niveaux néolithiques se décline en quatre phases ***(Fig. 2 et 3)***. Une vingtaine d'études archéobotaniques ont été réalisées dans un rayon de 10 km (Fig. 4). Nous y ferons régulièrement référence pour étayer l'interprétation.



(Fig. 3) ____ Diagramme d'anthropisation de la colonne 2. Présentation des principaux taxons d'arbres, courbes des céréales, de la callune et calculs d'Indices Polliniques d'Anthropisation (IPA). (DAO L. Gaudin. Logiciel Tilia Version 2.0.41., licence ArkéoMap).



2 Beaufort (Sauvage, 1952), (palyno.)
10 Beaufort, Birkenbach (Couteaux, 1969), (palyno.)
11 Reisdorf, Bigelbach-Haard (Couteaux, 1969), (palyno.)
15 Berdof, Aesbaach (Couteaux, 1970), (palyno.)
17 Berdorf, marais de Dauwelsmuer (Schwenninger, 1989), (palyno.)
22 Echternach Echternach (Couteaux, 1970), (palyno.)
25 Waldbillig, Karelslé (Pernaud, 2001), (anthraco.)
32 Heffingen, Loschbour (Brou et al., 2015), (palyno.)
33 Heffingen, Loschbour (Brou et al., 2015), (anthraco.)
34 Medernach, Seitert (Van Mourik et al., 2016, 2017), (palyno.)
37 Dauwelsmuer (Van Mourik et al., 2016), (palyno.)
39 Waldbillig, Karelslé (Heim in Gaudin, 2017), (palyno.)
40 Berdorf, Kalekapp 2 (Leesch, 2017), (carpo.)
41 Berdorf, Kalekapp 2 (Leesch, 2017), (anthraco.)
42 Kalefeld (Van Mourik, 2017), (palyno.)
43 Beaufort (Van Mourik, 2017), (palyno.)
44 Berdorf (Van Mourik, 2017), (palyno.)

(Fig. 4) ____ Carte de répartition des études archéobotaniques situées à proximité de la grotte diaclase de Waldbillig-« Karelslé » (Traitements géomatiques L. Gaudin).

- Période de l'Atlantique récent (VII)

Cette première phase est associée aux échantillons effectués dans les couches 18 et 17 correspondant aux périodes du Néolithique moyen/ Néolithique récent. Durant cette période les forts taux de pollens d'arbres, de l'ordre de 90 %, reflètent un environnement fermé dans les environs de la cavité.

La végétation boisée est perceptible par l'intermédiaire de pollens de noisetier (*Corylus avellana*), prédominants, de pin (*Pinus sp.*), de tilleul (*Tilia sp.*), d'orme (*Ulmus sp.*), de chêne (*Quercus sp.*) et de bouleau (*Betula sp.*).

Même si le chêne est mal représenté par la palynologie, l'association du tilleul, de l'orme et du chêne correspond à la **chênaie mixte** (*Quercetum mixtum*), caractéristique de l'optimum climatique de la période Atlantique. Cette chênaie diversifiée est bien perçue dans la région. C'est par exemple le cas de l'étude de « Dauwelsmuer » dans la vallée de l'Ernz noire (SCHWENNINGER 1989 ; VAN MOURIK *et al.* 2016) et dans la vallée de la Sûre à Echternach (COUTEAUX 1970).

Notons le taux marqué du noisetier accompagné probablement du bouleau. Le noisetier est bien représenté pour cette période dans les compositions anthracologiques (PERNAUD 2001), dans

les études de « Dauwelsmuer » (SCHWENNINGER 1989 ; VAN MOURIK *et al.* 2016) et à Echternach (COUTEAUX 1970). Le noisetier et le bouleau sont des taxons de **boisements clairs** à large amplitude écologique. On peut les retrouver associés à la chênaie mais aussi aux boisements hygrophiles. Ce sont des arbres pionniers qui pourraient caractériser des espaces en cours de reboisement. Ils ont pu se développer à l'intérieur de la zone alluviale mais aussi sur les coteaux et probablement à proximité de l'entrée de la grotte pour le noisetier.

La perception du pin est plus contrastée (entre 5 et 15 % en fonction des colonnes). Il faut probablement pondérer la présence de ce taxon dans le paysage, car il est connu pour sa forte production et diffusion pollinique. Les faibles taux constatés pourraient correspondre à des apports lointains, même si les rares fragments de charbons de pin mis en évidence dans la couche 18 (PERNAUD 2001) ne permettent pas d'écarter tout à fait l'hypothèse de provenances localisées (voir hypothèse des pineraies indigènes circonscrites à des biotopes extrêmes) (SIGNORET *et al.* 2005).

Des pollens d'aulnes (*Alnus sp.*) et plus rarement de saule (*Salix sp.*) ont été observés. Ils proviennent de **boisements hygrophiles**, probablement depuis la zone alluviale de l'Ernz noire. Ces taxons hygrophiles ne sont pas détectés par l'étude anthracologique (PERNAUD 2001). En revanche, des charbons de peuplier (*Populus sp.*) et de frêne (*Fraxinus sp.*) sont identifiés. Notons que des pollens de frêne sont aussi détectés dans la vallée de l'Ernz noire dans l'étude de « Dauwelsmuer » (VAN MOURIK *et al.* 2016). La détection de charbons de peuplier caractérise des collectes dans des forêts riveraines. Le frêne est davantage caractéristique de terrains argileux profonds et humides du fond de vallée (RAMEAU *et al.* 1989). La comparaison des compositions anthracologiques et palynologiques semble montrer que les néolithiques ont effectué des choix dans la collecte du bois de feu. S'ils ont ramassé du bois de frêne et de peuplier lors de leur passage dans la zone alluviale, ils ont à priori délaissé le bois d'aulne et de saule. (voir hypothèse de la collecte du fourrage d'arbre pour le frêne, infra).

Pour ce qui concerne les rares pollens de végétations herbacées, quelques pollens de céréales et de *Centaurea sp.* observés dans la colonne 1 (WAL1 a) semblent attester l'existence de **cultures**. Cette présence est très ténue car elle n'est représentée que par de très faibles pourcentages et seulement dans la colonne1. Néanmoins, des grains et caryopses carbonisés de céréales (par exemple *Hordeum vulgare*) ont été retrouvés dans les niveaux du Néolithique moyen. Il est donc probable que ces apports polliniques soient en relation directe avec les activités humaines, peut être liées aux traitements des céréales (par exemple battage, grillage) (LE BRUN-RICALENS *et al.* 2005). Les études carpologiques devraient nous éclairer sur ce sujet (Laura Berrio, thèse en cours).

Les autres végétations herbacées sont essentiellement représentées par quelques pourcentages de Poacées. Quelques pourcents d'Apiacées sont à noter dans la zone WAL1-a. Les taux de spores de certaines fougères sont importants : *Polypodium sp.* et *Dryopteris sp.* Ce sont plutôt des taxons d'ombre ou de demi-ombre et caractéristiques de milieux mésophiles voire humides pour le genre *Dryopteris* (RAMEAU *et al.* 1989).

La plupart des pollens d'arbres de la chênaie mixte ont pu être identifiés par l'étude anthracologique (PERNAUD 2001), même si certains le sont par quelques fragments seulement (pin, bouleau, orme). En revanche, des taxons bien représentés par l'anthracologie ne sont pas ou peu représentés par la palynologie. Il s'agit notamment du chêne, du frêne (*Fraxinus excelsior*), de l'érable (*Acer campestre*), du hêtre (*Fagus sylvatica*) et de l'if (*Taxus baccata*).

Deux explications sont possibles pour expliquer ces divergences :

- soit une distorsion liée à la diffusion, le dépôt et la conservation pollinique,

- soit des taxons anthracologiques liés à des choix lors de la collecte de bois.

Le chêne, le frêne, le hêtre et l'érable champêtre sont reconnus comme étant de bons combustibles (RAMEAU *et al.* 1989). Ils ont donc pu faire de l'objet de choix particuliers lors de la collecte de bois pour entretenir des foyers à proximité ou à l'intérieur de la cavité.

L'utilisation de fourrage d'arbre est une autre hypothèse parfois avancée pour expliquer la présence de restes anthracologiques à l'intérieur de sites de cavité. Citons l'utilisation du chêne, du noisetier, du frêne, de l'orme, de l'érable et de l'if comme fourrage d'arbre dans des grottes-bergeries du sud de la France et ce dès le Néolithique (THIÉBAULT 2005 ; NICOD *et al.* 2008). Dans la grotte-bergerie de la Grande Rivoire (Isère), les taxons les plus représentés sont l'if, le chêne à feuillage caduc (*Quercus f. c.*), le frêne et dans une moindre mesure le noisetier (*Corylus avellana*) et l'orme (*Ulmus minor*).

À l'exception peut-être de l'if, ces espèces offrent des feuilles qui étaient traditionnellement utilisées comme nourriture des troupeaux (NICOD *et al.* 2008).

L'étude des autres macrorestes carbonisés permit d'identifier le gui (*Viscum album*), autre taxon reconnu par l'anthracologie à la « Karelslé ». Son utilisation comme complément alimentaire ou comme plante médicinale a été évoquée à la Grande Rivoire car il favoriserait la lactation (NICOD *et al.* 2008).

En ce qui concerne l'if, il pourrait avoir été utilisé comme litière pour assainir les sols des bergeries, voire comme complément alimentaire (DELHON *et al.* 2008 ; MARTIN, THIÉBAULT 2010). En effet, le feuillage et le bois de l'if ont des propriétés insecticides (DANIEWSKI *et al.* 1998), son bois est antimicrobien et antibactérien (ERDEMOGLU, SENER 2001). De plus, il semble que la toxicité de cette essence peut être supportée par le bétail grâce à une consommation régulière par petites quantités depuis le plus jeune âge (FARRIS, FILIGHEDDU 2008). Dans l'étude anthracologique de Coufin 2 (THIÉBAULT 1988 ; MARTIN, THIÉBAULT 2010), la comparaison entre compositions anthracologiques et spectres fauniques permit de rapprocher l'utilisation de frêne aux élevages de bovins et l'if aux élevages d'ovi-caprins.

Notons aussi que l'if est assez délicat à identifier par la palynologie. De plus, c'est une essence dioïque (il existe des individus mâles et des individus femelles) ce qui nécessite la présence d'individus mâles pour détecter sa présence en palynologie.

La mauvaise perception des pollens de chêne dans les quatre séries polliniques de la cavité pose question, car il est par ailleurs l'un des taxons dominants dans les autres études polliniques alentours (par exemple études de « Dauwelsmuer ») et il est aussi largement détecté par l'étude anthracologique. Une explication réside probablement dans le mode de diffusion et le « piégeage » des pollens à l'intérieur de la cavité. Selon H. Richard, pour ce qui concerne les études polliniques de lacs, les parts des apports régionaux et lointains augmentent en fonction de la taille des lacs. En fait, plus le « capteur pollinique » est grand et meilleure serait la représentation pollinique régionale (RICHARD 1999). Ce principe a été démontré par l'intermédiaire de modèles mathématiques (SUGITA 1994). Le dépôt pollinique à l'intérieur de la grotte est particulier et répond partiellement à ces modèles car il dépend de plusieurs facteurs difficilement pondérables :

- dépôt aérien,
- dépôt par ruissellement,
- apport par les activités humaines,
- apport des animaux domestiques et sauvages.

De plus, les végétations situées à l'entrée de la cavité ont de toute évidence joué un rôle important dans les compositions polliniques constatées. En effet, ces végétations étant les plus proches elles sont potentiellement les mieux représentées. D'autre part, elles ont pu faire obstacle à la diffusion pollinique de provenance plus lointaine, déformant là aussi la représentation pollinique régionale, dont la chênaie. Les apports polliniques par l'homme (par exemple apports par l'alimentation ; le traitement des aliments, de fibres végétales, etc.) et les animaux (par exemple aire de stabulation ; apports par le fourrage, la litière, les excréments, etc.) ne sont pas à sous-estimer.

- Période du Subboréal (VIII)

Les prélèvements palynologiques de cette période correspondent à l'ensemble des couches 17, 16, 15, 14b et 14c. La période couverte correspondrait aux périodes s'échelonnant du Néolithique final (couche 17) au début du second Âge du Fer (couches 14b et 14c).

La période est toujours caractérisée par **la chênaie mixte** à noisetier (*Corylus sp.*), tilleul (*Tilia sp.*), orme (*Ulmus sp.*), chêne (*Quercus sp.*) mais avec des baisses des taux polliniques de tilleul et d'orme. Le chêne est toujours peu représenté, mais il est désormais perçu en continu.

Dans les diagrammes des colonnes 1, 2 et 3 bis, au début de la période, les taux de pollens d'arbres sont de l'ordre de 80 à 90 %. Ces taux correspondent dans un premier temps à un paysage fermé autour de la cavité. Ils vont ensuite connaître une baisse puis un ressaut en fin de période. Cette évolution est perçue dans les colonnes 1 et 2 et aussi dans les colonnes 3 et 3bis pour le début de la période. Ces variations sont peut-être la conséquence des activités à l'extérieur et à l'intérieur de la grotte durant la période du Bronze final/début Hallstatt (couches 16 et 15). Des défrichements localisés aux alentours de la grotte ont probablement eu lieu.

L'évolution du taux de pollens d'arbres est en grande partie associée aux taux de noisetier. A l'échelle régionale, les études de « Dauwelsmuer » (VAN MOURIK *et al.* 2016) et d'Echternach (COUTEAUX 1970), montrent aussi des paysages encore très arborés. On constate des taux de pollens d'arbres de l'ordre de 75 à 80 % à Dauwelsmeur et de 60 % à Echternach. Le noisetier est aussi très représenté dans ces études, ce qui montre une implantation à la fois locale, probablement à l'entrée de la cavité, mais aussi régionale.

Le noisetier accompagné du bouleau correspondent à des **boisements clairs** à large amplitude écologique et qui ont pu se développer à la fois dans la vallée de l'Ernz noire, aux sols plus humides, mais aussi sur les coteaux ainsi que dans les zones de lisières ou de clairières de la chênaie. Le ressaut du taux de pollens de noisetier en fin de période est à noter. En effet, le noisetier, arbre pionnier par excellence, a pu bénéficier d'espaces défrichés, exploités (on voit dans le même temps l'augmentation des pollens de céréales), puis laissés en déprise. Le noisetier aurait pu en profiter pour recoloniser temporairement ces espaces délaissés, par exemple au niveau du plateau situé en amont.

En plus de ces taxons, on constate désormais les premières occurrences de hêtre (*Fagus sp.*) dans les quatre séries polliniques ainsi que quelques rares pollens de charme (*Carpinus sp.*) dans les colonnes 3 et 3bis.

Si l'on compare les résultats polliniques avec ceux de l'anthracologie (PERNAUD 2001), on détecte la présence du chêne, tilleul, noisetier

et orme par les deux techniques. Le résultat est à mettre en relation avec la chênaie mixte qui domine les paysages environnants. Mais on observe aussi davantage de fragments de charbon de hêtre (*Fagus sylvatica*) notamment dans la couche 15, fait cohérent avec la détection des premières attestations polliniques de la cavité mais aussi dans les études environnantes (par exemple étude de « Dauwelsmuer », VAN MOURIK *et al.* 2016). Ce résultat signe probablement des conditions légèrement plus fraîches et plus humides, prémices de la période Subatlantique à venir. En revanche, on constate aussi quelques divergences : l'if et l'érable sont détectés en quantité par l'anthracologie mais absents des diagrammes polliniques (par exemple diagrammes de « Dauwelsmuer » et de « Roudbaach » (VAN MOURIK 2017) ; Echternach (COUTEAUX 1970) ; PERNAUD 2001). On peut de nouveau évoquer des choix dans le bois collecté : pour des raisons de qualité de combustible, de qualité mécanique de l'if par exemple pour la confection d'outils et d'armes de jets (arcs), mais aussi peut être pour la recherche de fourrage d'arbre. Concernant cette dernière hypothèse, notons que le rapport entre le nombre de fragments de charbons d'if et de frêne s'est inversé par rapport aux niveaux néolithiques. Si l'on se réfère à l'interprétation des résultats anthracologiques de grottes-bergeries du sud de la France (THIÉBAULT 1988 et 2005 ; MARTIN, THIÉBAULT 2010), cela pourrait être lié à des changements entre des élevages de bovins et d'ovi-caprins.

Inversement, si quelques pollens de charme (*Carpinus sp.*) ont été observés, aucun fragment de charbon de charme n'a été détecté, mais il est probable que ce taxon soit encore assez rare dans le paysage.

On observe aussi des occurrences polliniques de résineux tels que le pin (*Pinus sp.*) en courbe continue dans les quatre diagrammes, mais aussi plus ponctuellement de sapin (*Abies sp.*) dans la colonne 2. Ces taxons sont connus pour leurs fortes productions et diffusions polliniques. Notons que des occurrences de sapin avaient déjà été identifiés pour la même période dans le diagramme d'Echternach (COUTEAUX 1970 ; GUIOT *et al.* 1992). Quelques rares fragments de pin (*Pinus sylvestris type*) ont aussi été identifiés (PERNAUD 2001), mais au regard des très faibles effectifs observés, il pourrait s'agir de « pollutions » depuis les niveaux antérieurs. Même si le pin est aussi régulièrement détecté dans les diagrammes environnants (Echternach et « Dauwelsmuer »), les faibles taux polliniques constatés correspondent probablement à des apports lointains.

Les boisements hygrophiles sont attestés par des pollens d'aulne (*Alnus sp.*) en courbe continue (environ 10 %) et par quelques pollens de saules (*Salix sp.*) et de frêne (*Fraxinus sp.*). Ces résultats sont corrélés par la détection de quelques fragments de charbons (PERNAUD 2001). Ces boisements occupent vraisemblablement les bords de l'Ernz noire de façon importante pour que ces taux soient perceptibles dans la cavité.

En ce qui concerne les herbacées, la période est marquée par une courbe continue en plus d'un petit ressaut du taux de pollen de céréales (*Cerealia type*). Ces attestations sont accompagnées de pollens de *Centaurea sp.*, taxon adventice **de cultures**. La légère augmentation des taux de céréales va de pair avec l'augmentation des taux de Poacées, l'augmentation de la diversité taxonomique ***(Fig. 3)*** et la baisse du taux de pollens d'arbres. Deux hypothèses peuvent être émises pour interpréter ces résultats :

- un défrichement des alentours de la cavité ayant permis la diffusion de pollens en provenance de zones un peu plus éloignées et notamment du plateau situé en amont de la grotte,

- un apport pollinique lié à des activités de traitement des céréales à proximité ou à l'intérieur

de la grotte, voire au passage (stabulation ?) d'animaux.

On constate aussi une nette augmentation de la somme des pollens de plantes rudérales sous l'impulsion des taux de plantain (*Plantago sp.*). On détecte à la fois des groupements de **friches et de jachères** (Poaceae, Asteraceae, *Crepis sp.*, Chenopodiaceae, Caryophyllaceae, Polygonaceae, *Artemisia sp.*, Lamiaceae) et **des groupements de végétations rudérales** correspondant aux végétations de lieux de pacages, de chemins, de zone d'habitats (*Plantago sp.*, Chenopodiaceae, Asteraceae, Ranunculaceae, Caryophyllaceae, *Artemisia sp.*, Apiaceae, Geraniaceae, Polygonaceae). Ces associations végétales sont caractéristiques d'espaces maintenus ouverts et piétinés. L'impact de l'homme structure désormais le paysage environnant.

- *Période du Subatlantique ancien (IX)*

Cette phase est associée aux échantillons effectués dans les couches 14b, 14a, 13, 12 et 11c datées de l'Âge du fer (Fig. 2). Les formes céramiques contenues dans la couche 14 indiqueraient une occupation à la transition Hallstatt final/Tène A, voire plus récente (information K. Zipper).

Le charme (*Carpinus sp.*) et le hêtre (*Fagus sp.*) apparaissent de façon continue à partir de cette période ***(Fig. 3)***.

Favorisé par les conditions climatiques plus fraîches et plus humides, le hêtre va peu à peu coloniser les surfaces forestières formant la **chênaie-hêtraie** (*Querco-Fagetea*) au détriment de la chênaie mixte (*Quercetum mixtum*). La courbe des taux de hêtre montre de très légères fluctuations mais la résolution des diagrammes polliniques ne permet pas de distinguer les pics du taux de hêtre reconnus dans certaines études notamment dans les études polliniques de mardelles ou du marais de « Dauwelsmuer » (VAN MOURIK *et al.* 2016).

L'apparition du charme est un jalon chronologique souvent utilisé dans le Nord-Est de la France pour marquer le début du Subatlantique. Dans le nord des Alpes et le Massif jurassien le charme apparaît vers 800–900 cal. BC (RICHARD 1999 ; GAUTHIER 2004). C'est un taxon mésophile à large amplitude, que l'on trouve sur les sols secs à frais de préférence sur les sols profonds. C'est une espèce nécessitant néanmoins des étés chauds pour la maturation des graines (RAMEAU *et al.* 1989).

Dans le diagramme de « Dauwelsmuer », (VAN MOURIK 2017) l'auteur l'utilise aussi avec le développement conjoint des taux de hêtre pour délimiter la période. En ce qui concerne les diagrammes de la « Karelslé », les premières attestations polliniques du charme semblent antérieures dans les colonnes 3 et 3bis (Subboréal), mais le charme ne semble véritablement se développer qu'à partir du Subatlantique. Van Mourik fait le même constat pour le diagramme de « Roudbaach » (VAN MOURIK 2017). Dans tous les cas de figures, la limite Subboréal/Subatlantique est souvent difficile à cerner car les phénomènes naturels débutés durant le Subboréal se poursuivent sans changements brutaux.

Malgré l'apparition de la chênaie-hêtraie, **la chênaie mixte** semble se maintenir à l'échelle locale avec des taux de chêne (*Quercus sp.*), de tilleul (*Tilia sp.*) dont les taux augmentent légèrement, d'orme (*Ulmus sp.*) et de noisetier (*Corylus sp.*) toujours bien perceptibles.

En début de période, un pic de pollen d'érable (*Acer sp.*) est détecté dans les colonnes 1 et 2 ***(Fig. 7 et 8)***. Deux espèces sont possibles : l'érable champêtre (*Acer campestre*) et l'érable sycomore (*Acer pseudoplatanus*). L'érable champêtre apparaît en cohérence avec le développement de la chênaie-hêtraie (syntaxon *Querco-Fagetea*) ou des forêts collinéennes dominées par le charme (syntaxon *Carpinion betuli*). L'érable sycomore est une espèce de climat frais à humidité atmosphérique assez élevée (RAMEAU *et*

al. 1989). Son développement pourrait donc répondre à la même impulsion climatique que celui du hêtre. On peut le trouver associé au hêtre et au charme (par exemple syntaxon du *Carpinion betuli*). Les deux espèces d'érable sont potentiellement hygrophiles. Elles pourraient aussi faire partie **des forêts ripicoles** de fond de vallées (par exemple aulnaies : syntaxon *Alno-Padion*) détectées par les pollens d'aulne (*Alnus sp.*) et de frêne (*Fraxinus sp.*). Notons un léger retrait des taux de pollens d'aulne ce qui pourrait signifier des défrichements partiels des boisements hygrophiles.

Le taux de noisetier (*Corylus sp.*) reste dominant mais il connaît une diminution importante. Le bouleau (*Betula sp.*) est détecté de façon continue. Ces deux taxons caractérisent des boisements clairs, associés aux forêts (lisières et clairières des chênaies et chênaies-hêtraies) ou aux boisements humides (aulnaies). Désormais, ils sont peut-être aussi présents dans des secteurs laissés en déprise agricole et dans des haies.

La fréquence du pin (*Pinus sp.*) reste continue mais à des taux très faibles. Ces pollens sont d'origines lointaines.

Le taux de pollens d'arbre est en recul assez net avec des valeurs se stabilisant autour de 40 % (colonne 2) et 20 % (colonne 1). Ces taux fluctuent moins que durant le Subboréal et sont maintenus à des valeurs relativement basses. Ce constat sous-tend l'existence de pressions anthropiques soutenues (pratiques agro-pastorales, écobuages?) maintenant les dynamiques végétales à des niveaux de végétations ouvertes.

On peut émettre plusieurs hypothèses afin d'expliquer l'augmentation de la diversité taxonomique à cette période ***(Fig. 3)***. Le nombre de taxons polliniques peut tout d'abord être considéré comme un indice indirect des pressions exercées sur les dynamiques végétales naturelles (GAUDIN 2004). En effet, en exploitant l'environnement végétal, l'homme perturbe les successions végétales naturelles, ce qui entraîne une diversification des « niveaux dynamiques » (ou associations végétales) présents en même temps dans le paysage. L'introduction de taxons allochtones, notamment les taxons cultivés (pollen de *Cerealia type*) constitue un autre facteur. Enfin, l'ouverture des végétations arborescentes situées peut-être à l'entrée de la grotte a potentiellement permis des diffusions polliniques de provenances plus lointaines. On perçoit donc potentiellement plus d'écosystèmes (par exemple végétations de prairies du plateau).

Parmi les associations végétales herbacées, on constate l'existence des associations de cultures (*Cerealia type* avec les accompagnatrices : *Centaurea sp.*, *Polygonum aviculare*, Chenopodiaceae, *Rumex sp.*, Papaveraceae) détectées à la fois dans les colonnes 1 et 2 (WAL1d, WAL1e, et WAL2e) mais aussi des **associations végétales de friches et jachères** (Poaceae, *Cirsium sp.*, *Crepis sp.*, *Artemisia sp.*, Polygonaceae, Caryophyllaceae, Chenopodiaceae, Lamiaceae, Brassicaceae, Ranunculaceae).

De façon générale, on constate des taux importants de taxons de plantes adventices (*Centaurea sp.*, Polygonum aviculare) et rudérales (*Plantago sp.*) ***(Fig. 3)***.

Le développement **des communautés rudérales** (*Plantago sp.*, Chenopodiaceae, Asteraceae, Poaceae, *Artemisia sp.*) sous-tend une intensification des pratiques agro-pastorales et une extension des espaces favorables à ces plantes, comme les chemins, zones d'habitats, lieux de pacage.

Faits nouveaux, on perçoit désormais des associations de **prairies hygro à mésophiles pâturées** (Poaceae, Cyperaceae, *Plantago sp.*, Asteraceae, Rubiaceae, Brassicaceae, Dipsacaceae, Fabaceae, Apiaceae, *Potentilla sp.*, Ranunculaceae, *Filipendula sp.*) mais aussi de **landes** avec des taux importants de bruyères (*Calluna sp.*) et de Fabaceae (jusqu'à 40 % dans WAL2f). L'appari-

tion de ces landes suggère des espaces aux sols appauvris, voire érodés probablement en liaison avec les activités humaines (déforestations, écobuages).

La multiplicité des entités végétales évoque la mise en place d'une mosaïque paysagère à la fois sur le plateau, sur les coteaux et dans la vallée de l'Ernz noire. L'impact des activités humaines sur le paysage environnant est important.

L'ouverture du paysage est aussi perceptible dans le diagramme d'Echternach avec des taux de pollens d'arbre de l'ordre de 50 % (COUTEAUX 1970). En revanche, la baisse du taux de pollens d'arbres est moins perceptible dans les diagrammes de « Dauwelsmuer » (VAN MOURIK 2016) ou de la mardelle de Beaufort (VAN MOURIK 2017) avec des taux d'AP de l'ordre de 80 %. La couverture des boisements semble donc encore très hétérogène dans ce secteur, même si dans le même temps les autres indices d'activités agricoles (par exemple identification de cultures de céréales) sont régulièrement détectés.

- Période du Subatlantique récent (IX)

Cette phase correspond aux prélèvements réalisés dans les couches 11 à 9 (colonnes 1 et 2). Les unités stratigraphiques datées grâce au mobilier archéologique s'échelonnent depuis l'époque romaine (couche 11) jusqu'à des niveaux relativement récents. La détection de pollens d'épicéa (*Picea sp.*) dans le prélèvement de la couche 9, montre un dépôt à partir du XIX^{e} siècle.

Les taux de pollens d'arbres sont en augmentation par rapport à la période précédente. On constate des taux de l'ordre de 50 % à 70 % pour la zone pollinique « WAL2g » ce qui sous-tend un reboisement des environs de la cavité.

Le noisetier est toujours le taxon dominant avec environ 20 % des pollens d'arbres, mais d'autres taxons d'arbre sont bien représentés. Par ordre d'importance on constate le charme (*Carpinus sp.*), le tilleul *(Tilia sp.*), l'aulne (*Alnus sp.*), le bouleau (*Betula sp.*) (de 20 % à 10 %). Le chêne (*Quercus sp.*), le hêtre (*Fagus sp.*), le pin (*Pinus sp.*) sont détectés de façon continue mais avec de faibles fréquences. L'orme (*Ulmus sp.*), l'érable (*Acer sp.*) dans la colonne 1 et le frêne (*Fraxinus sp.*) apparaissent épisodiquement.

Ce sont donc principalement les végétations de boisements clairs (noisetiers, bouleau), de boisement hygrophiles (aulnaie) accompagnés du charme qui expliquent le reboisement. Le noisetier et le bouleau, espèces pionnières, profitent vraisemblablement d'espaces laissés en déprise agricole.

L'augmentation des taux de pollen de charme reste difficile à interpréter. Si sa présence durant cette période est presque systématique, il ne connaît pas de développement équivalent dans les autres diagrammes polliniques du secteur (COUTEAUX 1970 ; VAN MOURIK 2017 ; SCHWENNINGER 1989). Seul le diagramme de « Seitert » à Merdernach (VAN MOURIK 2017) montre des taux semblables, de l'ordre de 15 %. Dans le cas de la « Karelslé », le charme semble participer au reboisement général du paysage environnant.

Les faibles taux de chêne mais aussi de hêtre s'expliquent probablement toujours pour des raisons de diffusion pollinique des végétations régionales à l'intérieur de la grotte (voir interprétation de la période Atlantique). Il est néanmoins possible de reconnaître les grands traits des associations forestières.

À l'échelle régionale, **la chênaie-hêtraie** (*Quercus sp.*, *Fagus sp.*, *Acer sp.*) coexiste avec **la chênaie mixte** (*Quercus sp.*, *Tilia sp.*, *Ulmus sp.*), qui semble se maintenir notamment au travers des taux relativement importants de pollen de tilleul (environ 10 % à 15 % dans la colonne 2). Or, le maintien de la chênaie mixte ne répond pas au schéma habituel. En règle générale, la seconde

partie du Subatlantique voit la chênaie-hêtraie se développer au détriment de la chênaie mixte et du tilleul qui disparaissent. C'est par exemple le cas dans les diagrammes de « Dauwelsmuer » et de « Roudbaach » (VAN MOURIK 2017 ; SCHWENNINGER 1989). Le tilleul et l'orme sont aussi absents des diagrammes de Medernach – « Seitert », de Beaufort, de Berdorf durant cette même période (VAN MOURIK 2017). Seul le diagramme d'Echternach (COUTEAUX 1970) montre des fréquences de tilleul en baisse mais persistant durant l'ensemble du Subatlantique. Les taux marqués du tilleul dans les diagrammes de la « Karelslé » semblent donc correspondre à une particularité locale. Ce constat est d'autant plus remarquable que c'est un taxon qui se caractérise par une faible production pollinique (HEIM 1970 ; MAZIER 2006). Plusieurs hypothèses peuvent être émises pour expliquer ce résultat : soit un apport local lié à la proximité de quelques tilleuls, soit des apports plus directs sous forme de fourrages (THIÉBAULT 2005), de déjections animales ou d'activités liées au travail du bois. En l'absence de vestiges ligneux identifiés dans les niveaux du Subatlantique (PERNAUD 2001), il est difficile d'abonder vers de privilégier l'une ou l'autre de ces hypothèses.

Plusieurs taxons polliniques arborescents apparaissent probablement favorisés par les activités humaines.

C'est le cas du noyer (*Juglans sp.*) dont quelques pollens sont identifiés dans les derniers niveaux. Il est régulièrement observé dans les diagrammes polliniques environnants. Schwenninger (SCHWENNINGER 1989) le fait apparaître au sommet du sondage de Berdorf (marais de « Dauwelsmuer ») et Couteaux (COUTEAUX 1969 ; COUTEAUX 1970) le signale dans les derniers niveaux des sondages de Beaufort – « Birkenbach », de Reisdorf – « Bigelbach Haard V » et de Berdorf – « Aesbaach ». L'espèce serait subspontanée dans les forêts alluviales de climat assez doux, elle est notamment sensible aux gelées printanières de la moitié nord de la France (RAMEAU *et al.* 1989). Il semble apparaître à l'époque romaine au Luxembourg (GAUTHIER 2000 ; COUTEAUX 1970), dans le Nord-Est de la France (RICHARD 1999) et dans le Bassin parisien (LEROYER *et al.* 2011) où il est d'ailleurs utilisé comme marqueur pollinique de la phase récente du Subatlantique.

De nouveaux taxons d'arbres apparaissent dans la colonne 1 : le sureau (*Sambucus sp.*) et les genres *Prunus* (prunelliers) et *Cornus* (cornouillers). Ces taxons correspondent à des formations arbustives de lisières, fruticées ou de haies (RAMEAU *et al.* 1989). Il pourrait s'agir d'arbres utilisés comme fruitiers et favorisés par l'homme.

Le taux de pin reste faible et correspond à des apports lointains. On constate néanmoins une augmentation du taux de pin dans le niveau le plus récent (prélèvement 29, couche 9) en plus de l'apparition de pollens d'épicéa (*Picea sp.*). Ces observations correspondent aux plantations de résineux opérées depuis le XIX^{e} siècle, notamment dans les terrains de l'Oesling.

Malgré le reboisement, les végétations herbacées restent perceptibles.

Les groupements de **friches et jachères** (Poaceae, *Crepis sp.*, *Cirsium sp.*, *Artemisia sp.*, *Centaurea sp.*, Chenopodiaceae, Lamiaceae, Caryophyllaceae, Convolvulaceae, Polygonaceae, *Rumex sp.*), de **prairies** (Poaceae, *Plantago sp.*, Rubiaceae, Apiaceae, *Centaurea sp.*, *Calluna sp.*, *Scrophulariaceae*, *Crepis sp.*, *Cirsium sp.*, *Potentilla sp.*) et des **landes** (*Calluna sp.*, Poaceae, Fabaceae, *Pteris sp.*) sont toujours présents.

On détecte l'association végétale des **cultures** dans la colonne 1 (WAL1f) composée des pollens de céréale (*Cerealia type*) associés à des plantes adventices (*Rumex sp.*, *Centaurea sp.*, Papaveraceae) et à des plantes rudérales (*Polygonum aviculare*, *Plantago sp.*, Chenopodiaceae). Tou-

tefois, les pollens de céréale disparaissent des derniers niveaux de la colonne 2 (WAL2g). De plus, les sommes des pollens de plantes rudérales et adventices diminuent nettement ***(Fig. 3)***. Cette tendance est liée d'une part au reboisement, mais aussi probablement à une diminution des pratiques agropastorales dans le paysage environnant. Ce constat n'est cependant pas général à la région, car les diagrammes polliniques de « Dauwelsmuer » (SCHWENNINGER 1989 ; VAN MOURIK *et al.* 2016), Medernach Seitert, Berdorf, Beaufort (VAN MOURIK 2017) montrent des pratiques de cultures de céréales (*Cerealia type*) et de sarrasin (*Fagopyrum sp.*) durant cette même période dans des paysages de plus en plus ouverts.

En fait, les trois prélèvements étudiés dans la colonne 2 sont insuffisants pour pouvoir en déduire de véritables tendances paysagères sur une période s'échelonnant de l'époque romaine au XIX^{e} siècle. De fait, les résultats obtenus dans les colonnes stratigraphiques de la « Karelslé » sont difficilement comparables aux diagrammes réalisés par van Mourik, basés sur des densités de prélèvements beaucoup plus importantes.

4. DISCUSSION ET CONCLUSION

Une bonne conservation des pollens en contexte de grotte n'est pas courante. Les analyses et comptages effectués par J. Heim ont permis d'obtenir une diversité taxonomique intéressante et à priori peu de conservations différentielles (il n'y a pas de taxons sur-représentés). Ce constat réalisé, nous sommes amenés à poser la question de la provenance des pollens à la « Karelslé ».

Les analyses palynologiques de la grotte de la « Karelslé » semblent fortement influencées par la végétation locale et notamment les végétations situées à l'entrée de la grotte. En effet, les dynamiques de végétations régionales (chênaie mixte puis chênaie-hêtraie) reconnues par les études polliniques voisines du marais de « Dauwelsmuer » (SCHWENNINGER 1989 ; VAN MOURIK *et al.* 2016) et d'Echternach (COUTEAUX 1970), sont faiblement perçues. Il serait intéressant d'étudier la diffusion pollinique actuelle à l'intérieur de la grotte[1] afin de mieux comprendre à quoi correspondent les compositions polliniques observées. En effet, plusieurs facteurs ont potentiellement influencé les compositions polliniques constatées (voir supra).

De plus, les apports polliniques par les activités humaines à l'intérieur de la cavité sont très probables. L'utilisation de la grotte à des fins de stockage, en plus d'activités spécialisées permettant le traitement des fibres végétales ou des grains (grillage, torréfaction) ont certainement aussi influencé les compositions polliniques (LE BRUN-RICALENS 2005).

Enfin, le rôle des animaux n'est pas négligeable car la cavité a pu être un lieu de passage pour des animaux sauvages (par exemple chauves-souris) mais servir aussi d'aire de « stabulation » voire de « bergerie ». Il faut dans ces cas envisager des apports polliniques par l'intermédiaire des litières, des fourrages, du pelage et des excréments. Les forts taux de plantains constatés durant une grande partie du diagramme de la colonne 2 ne sont peut-être pas étrangers à ces pratiques. Les forts taux de noisetier, la continuité des taux de tilleul sont peut-être liés à des apports réguliers de litières ou de fourrage d'arbre (THIÉBAULT 2005).

Une des originalités de cette étude a été de pouvoir comparer les résultats anthracologiques

1 L'utilisation de placettes situées à différents endroits de la grotte comme « capteurs de la pluie pollinique actuelle », préconisée par J. Heim en 1992, permettrait de mesurer l'influence et la qualité de la diffusion pollinique par voie aérienne et par les animaux sauvages.

(PERNAUD 2001) aux résultats palynologiques pour les périodes de la fin de l'Atlantique (Néolithique moyen) et du Subboréal (Bronze final).

Plusieurs traits de la végétation ligneuse ont ainsi pu être décrits par les deux techniques (par exemple détection de la chênaie mixte à tilleul, orme et chêne à la fin de la période Atlantique puis apparition de la chênaie – hêtraie dès le Subboréal). Mais il en est ressorti aussi quelques « incohérences ». L'anthracologie permit de détecter de l'if ainsi qu'une sur-représentation du chêne et du frêne par rapport à la palynologie. On note aussi une détection précoce du hêtre et de l'érable au Néolithique.

Ces « incohérences » nous invitent à émettre des hypothèses concernant des « sélections » de bois par les préhistoriques. En contexte archéologique, les restes charbonneux sont généralement interprétés en tant que bois de construction, bois pour confectionner des outils ou bois de feu. Les qualités mécaniques du bois ou les qualités de combustible sont alors évoquées pour expliquer ces choix. Le chêne, le frêne, le hêtre et l'érable champêtre sont par exemple réputés pour être de « bons » combustibles. L'if est quant à lui connu pour ses qualités mécaniques, par exemple dans la fabrication d'armes de jet (PERNAUD 2001).

Dans les contextes archéologiques de grotte, un autre type d'hypothèse est proposé. Il s'agit de l'utilisation de fourrages d'arbre et de litières pour les animaux. Les études des sites interprétés comme des « grottes-bergeries » occupées dès le Néolithique dans le Sud de la France nous ont donné des éléments de comparaison intéressants, exemples des sites de la Grande Rivoire (NICOD *et al.* 2008) et Confin 2 (THIÉBAULT 1988). Les études menées sur ces sites révèlent que « certaines espèces (frêne, chêne à feuillage caduc, érable, noisetier, orme...) étaient préférentiellement sélectionnées et récoltées pour nourrir les animaux, soit pendant les saisons de carences, soit comme complément alimentaire » (THIÉBAULT 2005 : 95). L'if a pu être utilisé pour assainir les sols ou bien comme complément alimentaire (MARTIN, THIÉBAULT 2010). Le plus souvent les charbons de bois récoltés sur ces sites se présentent sous forme de rameaux ou de branchettes d'un diamètre inférieur à 5 mm. Le réexamen des calibres des fragments de bois de la « Karelslé » permettrait de conforter ou non cette hypothèse. D'autre part, d'éventuelles relations entre fourrages d'arbres (?) et spectre faunique pourraient se révéler pertinentes.

Il faut enfin souligner les difficultés liées au manque de résolution des diagrammes (9 à 13 prélèvements par diagrammes seulement) et aux datations des niveaux étudiés (aucune datation radiocarbone est rattachée directement aux colonnes palynologiques).

Il est évident que cette étude ne peut rivaliser avec le détail des informations paléoenvironnementales obtenu dans les contextes de zones humides (par exemple marais de « Dauwelsmuer » et d'Echternach). Néanmoins, les analyses palynologiques de la grotte de la « Karelslé » ont révélé des informations paléoenvironnementales cohérentes avec les grands traits des dynamiques végétales régionales. D'autre part, elles ont permis de répondre à des problématiques archéologiques en apportant de nouvelles hypothèses sur l'évolution du paysage environnant et sur l'occupation de la cavité.

REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont tout d'abord à Foni Le Brun-Ricalens et Laurent Brou du Centre national de recherche archéologique du Grand-Duché de Luxembourg pour nos échanges fructueux sur les données archéobotaniques de la grotte « Karelslé » et pour le soutien matériel.

Je remercie aussi vivement Jean Heim qui a mis à disposition les données de ses études polliniques réalisées à partir de 1992 sur cette cavité. Il est en quelque sorte l'initiateur de cet article.

Les analyses anthracologiques de Jean-Marie Pernaud ont aussi largement contribué à l'interprétation des résultats. Enfin une mention spéciale pour Véronique Biver et Gaëtane Grut qui ont réalisé un énorme travail de DAO pour la mise au net des données et des archives de fouilles de la grotte « Karelslé ». Qu'ils soient tous remerciés ici.

Loïc GAUDIN
Docteur en archéobotanique
Arkéomap
6, allée de la mignorais
F-35340 Liffré
loic.gaudin@arkeomap.com

BIBLIOGRAPHIE

ARGANT J., HEINZ C., BROCHIER J.-L. 1991. Pollens, charbons de bois et sédiments : l'action humaine et la végétation, le cas de la grotte d'Antonnaire (Montmaur-en-Diois, Drôme). *Revue d'Archéométrie*, 15, 29-40.

BARBIER D. 1999. *Histoire de la végétation du nord-mayennais de la fin du Weischelien à l'aube du XXI*ème *siècle Mise en évidence d'un Tardiglaciaire armoricain Interactions Homme-Milieu*. Thèse de doctorat, Université de Nantes, Nantes, 284 p.

BASTIN B., CORDY J.-M., GEWELT M., OTTE M. 1986. Fluctuations climatiques enregistrées depuis 125 000 ans dans les couches de remplissage de la grotte Scladina (Province de Namur, Belgique). *Bulletin de l'Association française pour l'étude du quaternaire*, 23, 168-177.

BEHRE K.E. 1981. The interpretation of anthropogenic indicator in pollen diagrams. *Pollen et spores*, 23-2, 225-245.

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

COUTEAUX M. 1970. Étude 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.

CUSHING E.J. 1963. *Late Wisconsin pollen stratigraphy in East Central Minnesota*. Thèse de Doctorat, Université du Minnesota, 165 p.

DANIEWSKI W. M., GUMULKA M., ANCZEWSKI W., MASNYK M., BLOSZYK E. GUPTA K. 1998. Why the yew tree (*Taxus baccata*) is not attacked by insects. *Phytochemistry*, 49- 5, 1279-1282.

DELHON C., MARTIN L., ARGANT J., THIÉBAULT S. 2008. Shepherds and plants in the Alps: Multi-proxy archaeobotanical analysis of neolithic dung from "La Grande Rivoire" (Isère, France). *Journal of Archaeological Science*, 35-11, 2937-2952.

ERDEMOGLU N., SENER B. 2001. Antimicrobial activity of the heartwood of *Taxus baccata. Fitoterapia*, 72-1, 59-61.

FAEGRI K., IVERSEN J. 1989. *Textbook of pollen analysis 4*th *edition*. John Wiley & Sons, Chichester, 328 p.

FARRIS E., FILIGHEDDU R. 2008. Effects of browsing in relation to vegetation cover cover on common yew (*Taxus baccata L.*) recruitment in Mediterranean environments. *Plant Ecology*, 199-2, 309-318.

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.

GAUTHIER E. 2000. *Analyse pollinique des remplissages sédimentaires des mardelles de Hellange et de Mersch (Luxembourg)*. Rapport du Laboratoire de Chrono-Ecologie UMR 6565, Besançon. 19 p.

GAUTHIER E. 2004. *Forêts et agriculteurs du Jura. Les quatre derniers millénaires*. Collection Annales Littéraires de l'Université de Franche-Comté Série Environnement société et archéologie, 765/6, Presses Universitaires de Franche-Comté, Besançon, 197 p.

GRIMM E.C. 1987. CONISS: a FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computers & Geosciences*, 13-1, 13-35.

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*, 7, 303-309.

HEIM J. 1970. *Les relations entre les spectres polliniques récents et la végétation actuelle en Europe occidentale*. Thèse de Doctorat, Université de Louvain – Laboratoire de Palynologie et Phytosociologie, 181 p.

LE BRUN-RICALENS F. 1993. Les fouilles de la grotte-diaclase « Karelslé », commune de Waldbillig (Grand-Duché de Luxembourg). *Notae Praehistoricae*, 12, 181-191.

LE BRUN-RICALENS 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.

LE BRUN-RICALENS F., VALOTTEAU F. 2007. Le Néolithique moyen luxembourgeois : regards croisés entre Bassin parisien et Bassin rhénan. In: LE BRUN-RICALENS F., HAUZER A., VALOTTEAU F. (dir.). *Relations interrégionales au Néolithique entre Bassin parisien et Bassin rhénan*. Actes du 26ème colloque interrégional sur le Néolithique. Luxembourg 8-9 novembre 2003. Archaeologia Mosellana, 7, 297-317.

LEBRETON V., LARTIGOT A.-S., KARATSORI E., MESSAGER E., MARQUER L., RENAULT-MISKOVSKY J. 2007. Potentiels et limites de l'analyse pollinique de spéléothèmes quaternaires : applications à la reconstitution de l'environnement végétal de l'Homme préhistorique sur le pourtour Nord-Méditerranéen. *Quaternaire*. 18-2, 153-174.

MARTIN L., THIÉBAULT S. 2010. L'if (*Taxus baccata L.*) : histoire et usage d'un arbre durant la Préhistoire récente. L'exemple du domaine alpin et circum-alpin. In: DELHON C., THERY-PARISOT I., THIÉBAULT S. (dir.). *Actes du colloque « Des hommes et des plantes. Exploitation et gestion des ressources végétales de la Préhistoire à nos jours ». Session Usages et symboliques des plantes*. Actes des XXXèmes rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes, Juan-les-Pins 22-24 octobre 2009. Anthropobotanica 1, éditions du Muséum National d'Histoire Naturelle, 1-20.

MAZIER F. 2006. *Modélisation de la relation entre pluie pollinique actuelle, végétation et pratiques pastorales en moyenne montagne (Pyrénées et Jura). Application pour l'interprétation des données polliniques fossiles*. Thèse de Doctorat. Universités de Franche-Comté et de Neufchâtel, 228 p.

NICOD P.-Y., PICAVET R., ARGANT J., BROCHIER J. L., CHAIX L., DELHON C., MARTIN L., MOULIN B., THIÉBAULT S. 2008. La bergerie néolithique de la Grande Rivoire. In: JOSPIN J.-P., FAVRIE T. (dir.). *Premiers bergers des Alpes : de la préhistoire à l'Antiquité*. Infolio Gollion, 74-79.

OUGUERRAM A. 2002. *Histoire de la vallée de l'Erdre (affluent de la Loire, Massif armoricain, France) de la fin du Tardiglacaire aux époques actuelles*. Thèse de Doctorat, Université de Moulay Ismaïl de Meknès (Maroc), 121 p.

PERNAUD J.-M. 2001. Postglacial vegetation history in Luxembourg: new charcoal data from the cave of la Karelslé (Waldbilig, eastern Gutland). *Vegetation History and Archaeobotany*, 10, 219-225.

PUERTAS O. 1997. *Évolution de la végétation depuis le Dryas récent dans la plaine littorale de Montpellier (Hérault, France) à partir de l'analyse pollinique. Dynamique naturelle et anthropisation du milieu*. Thèse de Doctorat, Université de Franche-Comté, 337p.

RAMEAU J.C., MANSION D., DUME G. 1989. *Flore forestière française, guide écologique illustré. Plaines et collines*. Tome 1, Institut pour le développement forestier, Paris, 1785 p.

RICHARD H. 1999. La palynologie. In: BROCHIER J.E., BOURQUIN-MIGNOT C., CHABAL L., CROZAT S., FABRE L., GUIBAL F., MARINVAL P., RICHARD H., TERRAL J.-F., THERY I. (éds.). *La Botanique*. Collection Archéologiques Errance, Paris, 9-42.

SÁNCHEZ-GOÑI M. 1996. Les changements climatiques du Paléolithique supérieur. Enquête sur le rapport entre Paléoclimatologie et Préhistoire. *Zephyrvs*, 49, 3-36.

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 de la Société des Naturalistes luxembourgeois*, 89, 157-196.

SUGITA S. 1994. Pollen representation of vegetation in Quaternary sediments: theory and method in patchy vegetation. *Journal of Ecology*, 82, 21-409.

THIÉBAULT S. 1988. *L'homme et le milieu végétal. Analyses anthracologiques de six gisements des Préalpes au Tardi- et au Postglaciaire*. Documents d'Archéologie Française n°15 de la Maison des Sciences de l'Homme, Paris, 114 p.

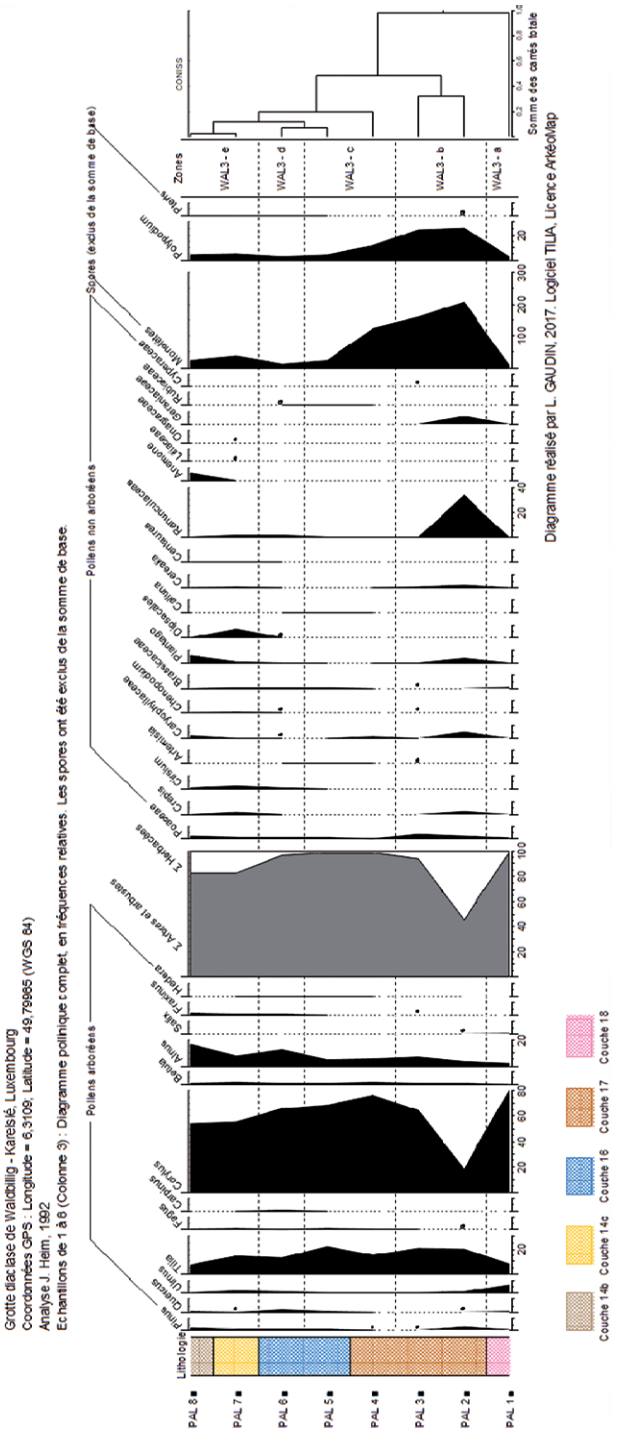
THIÉBAULT S. 2005. L'apport du fourrage d'arbre dans l'élevage depuis le Néolithique. *Anthropozoologica*, 40-1, 95-108.

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, 2015-82, 44 p.

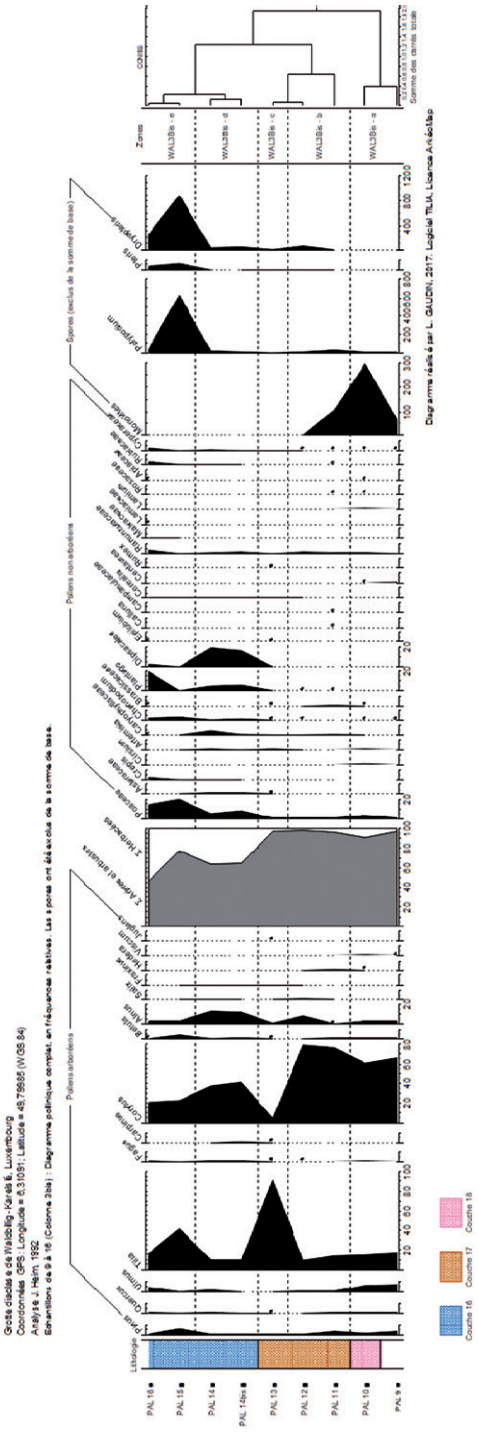
VAN MOURIK J. M. 2017. *Natural versus anthropogenic genesis of mardels on the Gutland plateau. A geological study of mysterious landforms*. Lambert Academic Publishing. 74p.

VAN WERVEKE J.-L. 1909. La Karelslé. In: « *Le Mullerthal et les environs – Aperçu de la période antérieure au Moyen-Age* ». Revue mensuelle du Touring Club Luxembourgeois, 113–114.

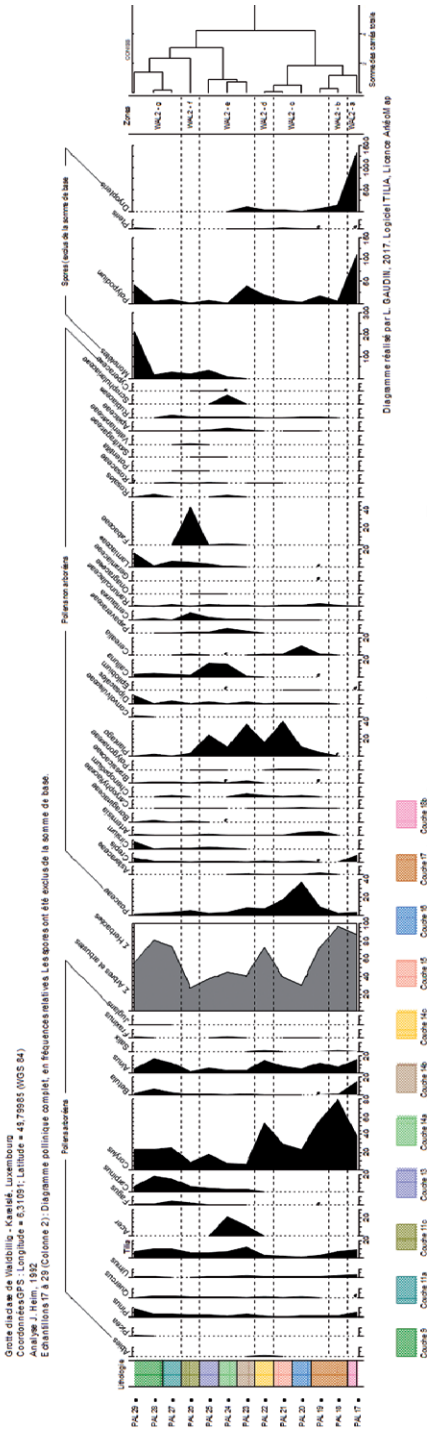
VOELTZEL D. 1987. *Recherches pollenanalytiques sur la végétation holocène de la plaine alluviale de l'estuaire de la Loire et des coteaux environnants*. Thèse de Doctorat, Université d'Aix-Marseille III Laboratoire d'Écologie et de Phytogéographie, Faculté des Sciences et des Techniques, Nantes, 178 p.



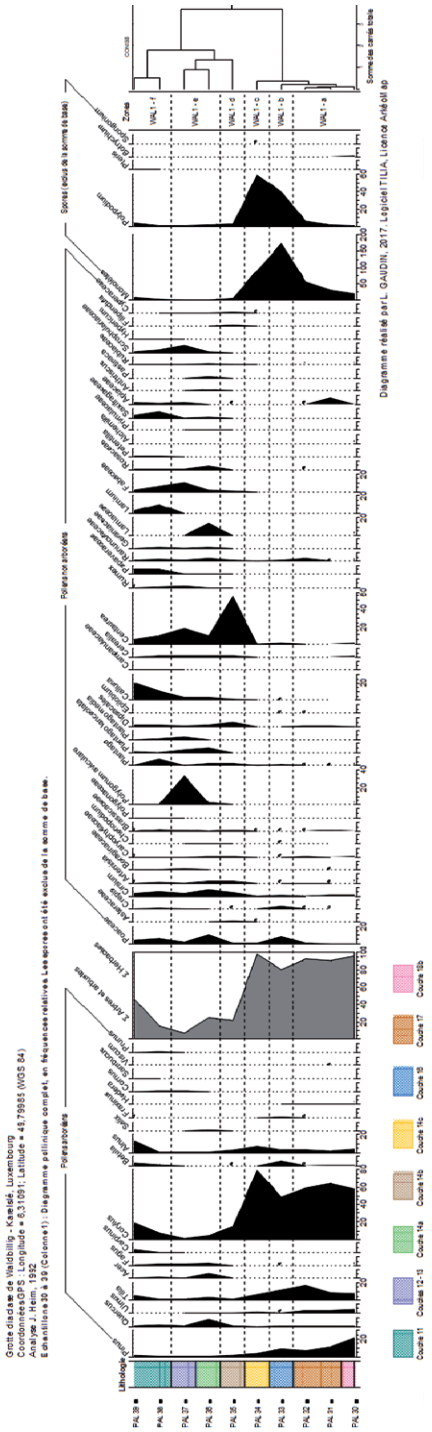
(Fig. 5) ____ Diagramme pollinique des échantillons 1 à 8 (colonne 3). Pourcentages calculés à partir de la somme des pollens. (DAO L. Gaudin. Logiciel Tilia Version 2.0.41., licence ArkéoMap).



(Fig. 6) ____ Diagramme pollinique des échantillons 9 à 16 (colonne 3bis). Pourcentages calculés à partir de la somme des pollens. (DAO L. Gaudin. Logiciel Tilia Version 2.0.41., licence ArkéoMap).



(Fig. 7) —— Diagramme pollinique des échantillons 17 à 29 (colonne 2). Pourcentages calculés à partir de la somme des pollens. (DAO L. Gaudin. Logiciel Tilia Version 2.0.41., licence ArkéoMap).



(Fig. 8) —— Diagramme pollinique des échantillons 30 à 39 (colonne 1). Pourcentages calculés à partir de la somme des pollens. (DAO L. Gaudin. Logiciel Tilia Version 2.0.41., licence ArkéoMap).