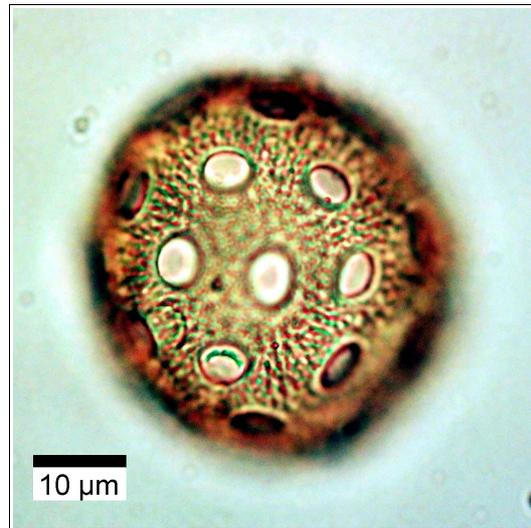




ArkéoMap

ANALYSES SCIENTIFIQUES DES DÉCOUVERTES ARCHÉOLOGIQUES : ÉTUDES PALYNOLOGIQUES



**ANALYSE PALYNOLOGIQUE DE CINQ PRÉLÈVEMENTS RÉALISÉS EN
STRATIGRAPHIE DANS LE COMBLEMENT D'UNE MARDELLE SITUÉE
AU LIEU-DIT PAFEBIERG SUR LA COMMUNE DE MOMPACH
(LUXEMBOURG).**

OPÉRATION : 2019-080, Z. DÉCAP. ST2 LOG1

**CNRA
Service d'archéologie préhistorique**

Rapport d'étude palynologique

Avril 2022

Centre National de Recherche Archéologique

Service d'archéologie préhistorique

Analyse palynologique de cinq prélèvements réalisés en stratigraphie dans le comblement d'une mardelle située au lieu-dit de Pafebiérg sur la commune de Mompach (Luxembourg).

Opération 2019-080, Z. Décap. ST2 LOG1.

Références des échantillons étudiés :

Prélèvements PLV2 , PLV 6, PLV 9, PLV12, PLV 14

Loïc GAUDIN

membre associé à l'UMR 6566 CReAAH et chargé de cours l'Université de Rennes 1

E-mail : loic.gaudin@arkeomap.com

Site web : arkeomap.com

Avril 2022

Illustration de la page de couverture : Pollen de Caryophyllacée, prélèvement n°6, Grossissement x1000.

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	4
1. PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS, STRATIGRAPHIE et OBJECTIFS.....	5
2. TRAITEMENT CHIMIQUE et OBSERVATION DES ECHANTILLONS.....	7
2.1 Le protocole d'extraction utilisé.....	7
2.2 Les comptages et déterminations.....	7
2.3 Le diagramme pollinique	9
3. RESULTATS, INTERPRETATION.....	10
3.1. Analyse critique des résultats.....	10
3.2. Interprétation des résultats.....	11
4. SYNTHESE.....	13
5. BIBLIOGRAPHIE.....	14
6. FIGURES.....	15
7. ANNEXE.....	19
7.1. Détail du protocole d'extraction utilisé :.....	19
7.2. Description des échantillons et des traitements	22

INTRODUCTION

Une mardelle comblée (dépression humide close) a été mise au jour au cours d'une opération de diagnostic archéologique dirigée par Yann Waersegers (ARCHEO Constructions SA), sur prescription et sous contrôle scientifique du CNRA (opération 2019-080), sur la commune de Mompach au lieu-dit Pafebiérg. Quinze prélèvements ont été effectués pour des études palynologiques. Un débat est toujours en cours sur l'origine naturelle ou anthropique de ces dépressions humides closes et sur leur datation. En l'occurrence celle de Mompach présente des indices visibles de travaux d'excavation. Elle se situe par ailleurs dans un secteur riche en vestiges gallo-romains (substructions, qanat, etc.).

Ces analyses font suite à la réalisation de tests sur cinq prélèvements palynologiques, sur un total de quinze. Les résultats des tests ayant conclu à la présence de pollens en quantité et qualité raisonnable (Gaudin, 2020), nous avons donc poussé l'étude de manière à obtenir un premier diagramme pollinique sur la base de ces cinq prélèvements.

L'étude a été commandée Monsieur Laurent Brou archéologue du CNRA avec l'accord de son responsable Monsieur Foni Le Brun-Ricalens.

1. PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS, STRATIGRAPHIE et OBJECTIFS

De façon générale les couches sédimentaires du site ne présentaient pas de conditions anaérobies permanentes (ex. nappe d'eau), ce qui rend généralement la conservation des pollens très aléatoire.

Quinze prélèvements ont été réalisés le long d'une colonne stratigraphique au moment de la fouille (juin 2019) (Fig. 2 et 3). Ils ont été effectués de 1 m à 1,8 m de profondeur. Les différents niveaux prélevés correspondent à des phases de comblement postérieures au fonctionnement et à l'abandon de la mardelle.

Les cinq échantillons ont été répartis le long de cette colonne (prélèvements n°2, n°6, n°9, n°12, n°14).

D'une façon générale le contexte de conservation n'était pas très favorable. Le comblement ne présentait pas de conditions anaérobies permanentes (ex. nappe d'eau), ce qui rend la conservation des pollens aléatoire. Le sédiment était à dominance minérale de couleur grise-beige, voire orangée.

Le résultat des tests se révéla plutôt positif avec des concentrations sporo-polliniques allant de 3500 à 15000 grains / ml (Gaudin, 2020). Ce résultat nous encouragea à mener une analyse « complète ».

L'objectif de cette étude vise à obtenir une description du paysage végétal mais aussi, compte tenu du contexte sédimentaire (comblement de mardelle), obtenir des informations sur le fonctionnement à l'intérieur et autour de la dépression.

Les prélèvements ont été réalisés directement en stratigraphie (Fig. 1).

Site / Opération	Numéro d'US	Masse totale (g)	RQ
Mompach, 2019-080-ST2 LOG1	PR02 (1.05m)	15	Couche minérale grise - beige
Mompach, 2019-080-ST2 LOG1	PR06 (1.25m)	23	Couche minérale grise - beige
Mompach, 2019-080-ST2 LOG1	PR09 (1.42m)	29	Couche minérale grise - beige
Mompach, 2019-080-ST2 LOG1	PR12 (1.6m)	28	Couche minérale grise - beige
Mompach, 2019-080-ST2 LOG1	PR14 (1.72m)	40	Couche minérale grise - beige

Figure 1. Inventaire des prélèvements étudiés

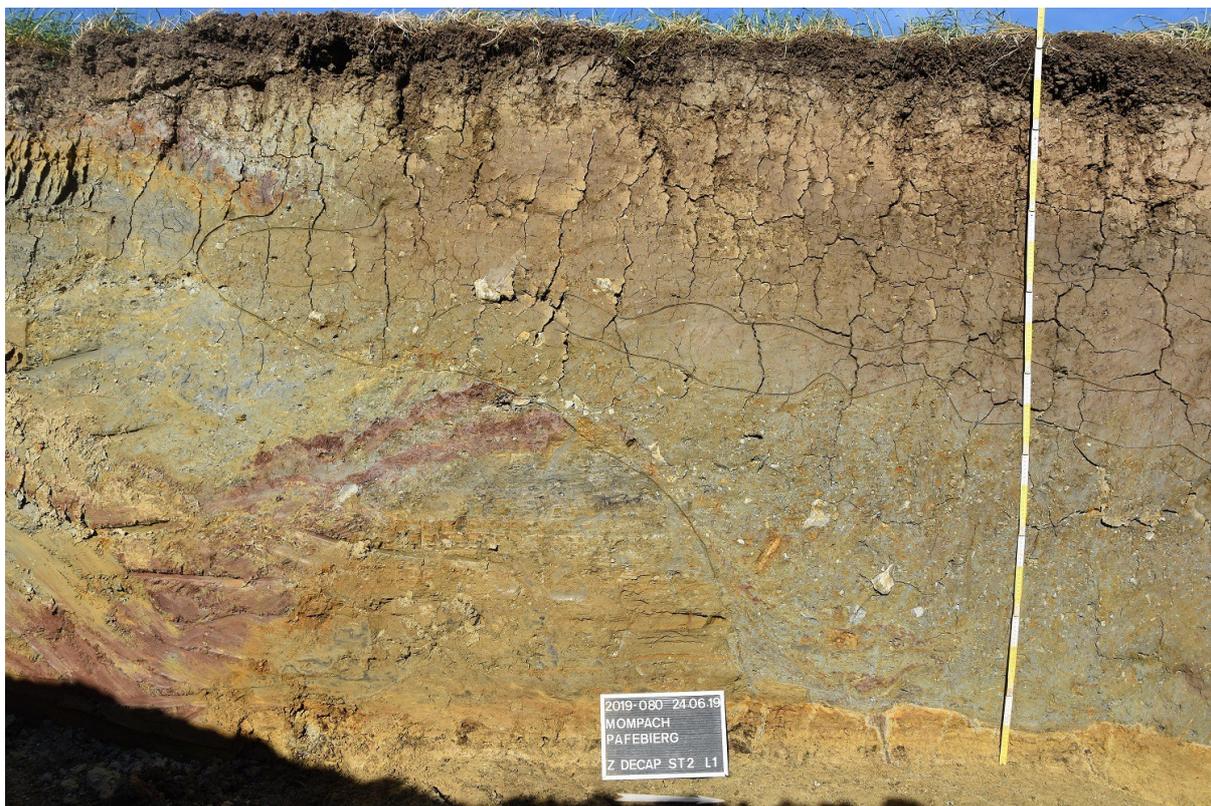


Fig 2. Coupe stratigraphique du comblement de la mardelle (Mompach, Pafebierg)



Fig 3. Position des prélèvements du comblement de la mardelle (Mompach, Pafebierg)

2. TRAITEMENT CHIMIQUE et OBSERVATION DES ECHANTILLONS

2.1 Le protocole d'extraction utilisé

L'extraction pollinique a été réalisée au sein du laboratoire de l'UMR CNRS 5805 EPOC (Environnements et Paléoenvironnements Océaniques et Continentaux) à l'université de Bordeaux.

Le protocole utilisé est détaillé en annexe (chapitre 7.1.).

2.2 Les comptages et déterminations

Les pollens ont été observés au sein du laboratoire ARKEOMAP. L'observation des extractions a été réalisée sous microscope optique à immersion aux grossissements x500 et x1000 (microscopes OLYMPUS CX21 et CX40).



Figure 4. Microscope d'observation (Olympus CX 21, ArkéoMap)

Les outils utilisés pour les déterminations sont de plusieurs sortes :

- des lames de référence du Laboratoire de l'UMR 6566 « CReAAH », de pollens actuels portant principalement sur la flore hygrophile des marais,
- des clichés photographiques pris au microscope optique et électronique,
- des atlas photographiques « pollens et spores d'Europe et d'Afrique du Nord » (Reille, 1992) et « Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete » (Beug, 2004).

Le nombre de grains de pollens et de spores comptés par échantillon peut être variable en fonction des conditions de conservation et de la nature des sédiments. Nous avons cherché dans la mesure du possible à obtenir un nombre minimum de 300 grains par échantillon. En effet, ce nombre est préconisé dans de nombreux

travaux sur le sujet qui précisent qu' au « delà de 300 l'information ne s'accroît que dans des proportions infimes » (Reille, 1990). Dans le cadre de cette étude, ce nombre a pu être atteint.

Nous avons aussi calculé des fréquences polliniques absolues afin d'estimer le nombre de grains par volume (cm³ ou mL) de sédiment. Nous nous sommes basés pour cela sur une méthode préconisant l'introduction de pastilles de spores de Lycopodes au nombre connu dans les préparations (Stockmarr, 1972).

Remarque par rapport à la détection des microfossiles non-polliniques (MNP) :

Le parcours des lames polliniques permet souvent d'observer des microfossiles non-polliniques. Ils peuvent être d'origines diverses : spores algales, ascospores fongiques, fructifications, restes de métazoaires, œufs ou kystes de parasites, ...

Il n'est pas toujours possible de déterminer ces microfossiles. Néanmoins, nous nous sommes basés sur les inventaires de Van Geel *et al.* (2006) et C. Cugny (2011) pour identifier certains microfossiles et ainsi compléter l'interprétation des résultats polliniques. La typologie adoptée est celle initiée par B. van Geel, réutilisée et complétée par C. Cugny (2011).

2.3 Le diagramme pollinique

Le diagramme sporo-pollinique (spores et pollens) a été réalisé à l'aide du logiciel « C2 data analysis version 1.7.6 » (Fig. 6).

Le pourcentage de chaque taxon a été calculé par rapport à une somme de base correspondant au total des pollens observés.

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 (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 (Barbier, 1999 ; Ouguerram, 2002). Pour notre part, les caractéristiques de production et de dispersion des spores étant différentes des caractéristiques polliniques, nous avons aussi choisi d'exclure les spores de la somme de base.

Les diagrammes sont réalisés à partir de ces pourcentages et les échantillons analysés apparaissent en lignes.

Sur ces diagrammes figurent de la gauche vers la droite :

- l'identifiant du prélèvement correspondant dans notre cas aux n° de prélèvement figurant sur la stratigraphie (Fig. 3),
- l'ensemble des fréquences relatives de chaque taxons d'arbres puis des arbustes déterminés lors du comptage,
- un diagramme de type « Iversen », synthétisant la somme des pollens d'arbres vis à vis des pollens d'herbacées (AP / NAP : Pollens d'arbres / Pollens Non Arboréen) et de plantes aquatiques. Ces courbes permettent d'estimer l'évolution des parts relatives des végétations boisées vis-à-vis des végétations herbacées et aquatiques dans le paysage environnant,
- les courbes individuelles continues en pourcentages relatifs des taxons polliniques de plantes herbacées, plantes de zones humides et aquatiques. Au sein des herbacées, les taxons sont ordonnés par leurs affinités écologiques,
- les courbes individuelles continues des spores de Ptéridophytes (fougères), des Bryophytes (mousses) puis des microfossiles non polliniques.

Remarque :

- les fréquences des spores et des microfossiles non polliniques sont calculées sur la base des sommes polliniques (d'où par exemple des fréquences supérieures à 100 pour les microcharbons).

3. RESULTATS, INTERPRETATION

Les résultats sont donnés sous la forme d'un tableau de comptages et d'un diagramme représentant les effectifs des différents spores et pollens identifiés (Figures 5 et 6).

3.1. Analyse critique des résultats

L'analyse des cinq échantillons a permis d'observer entre 200 et 450 grains de pollens et de spores par prélèvement (Fig. 5 et 8).

La concentration de pollens constatée à l'intérieur de l'échantillon est plutôt intéressante dans les trois prélèvements des niveaux supérieurs puisque l'on atteint des concentrations comprises entre 10000 et 19000 grains / mL.

Les concentrations des prélèvements n°12 et n°14 (niveaux de bas de colonne) sont un peu moins bons avec des concentrations de l'ordre de 2000 à 6500 grains / mL. Excepté pour le prélèvement n°12, les résultats sont un peu meilleurs que ceux constatés lors des tests (Gaudin, 2020).

La détection relativement importante des spores de Lycopodes introduits dans les volumes extraits (de 112 à 500 Lycopodes comptés, Fig. 8), témoigne de la réussite du traitement physico-chimique d'extraction du matériel sporo-pollinique.

Notons une probable sur-représentation des pollens de Cichorioïdées et d'Asteracées, taxons particulièrement résistants. Il est possible que le comblement de la mardelle ce soit retrouvé ponctuellement dans des contextes « aérobies » (ex. lors de périodes particulièrement sèches) propices à l'oxydation biologique ou physico-chimique des pollens les moins résistants. Mais mis à part le défaut observé par cette légère conservation différentielle, la conservation de l'ensemble apparaît assez bonne. On constate systématiquement plus de 20 taxons par niveau. Le contexte sédimentaire semble donc être resté suffisamment stable et à l'abri de l'oxygène, permettant le maintien de conditions anaérobies favorables à la conservation d'une bonne partie des pollens.

On constate une diversité intéressante puisqu'une cinquantaine de taxons a pu être discernée : 42 types de pollens, 6 types de spores et quelques microfossiles non polliniques ont été identifiés (Fig. 5 et 6).

Les pollens et spores identifiés correspondent principalement à des végétations herbacées (environ 70% des pollens). Ce résultat tendrait donc à décrire un paysage assez ouvert. Toutefois, il est assez probable que cette image soit déformée à cause de la nature des sédiments analysés et du mode de dépôt à l'intérieur de la mardelle. En effet, contrairement aux analyses polliniques réalisées dans des contextes de dépôts sédimentaires « naturels et ouverts » (type tourbière), où la pluie pollinique a pour principale origine des apports aériens (apports polliniques régionaux), dans notre cas le comblement de la mardelle est vraisemblablement pour partie dépendant du ruissellement des environs immédiats. L'observation de quelques pollens de plantes aquatiques (*Lemna*, Nymphaeae, Alismaceae) montrent que la mardelle a dû être régulièrement inondée par ruissellement des surfaces environnantes. L'image de la végétation perçue est donc probablement assez dépendante des apports polliniques locaux.

3.2. Interprétation des résultats

Les compositions polliniques des cinq échantillons montrent peu d'évolution le long de la colonne stratigraphique. Ce sont globalement les mêmes associations végétales qui sont perçues. On constate néanmoins de meilleures concentrations polliniques pour les prélèvements situés en haut de colonne. Les compositions sont aussi un peu plus diversifiées pour les trois prélèvements des niveaux supérieurs.

De façon générale, les taux de pollens d'arbres oscillent entre 30 et 40 %. Il faut néanmoins relativiser ces proportions en vue d'une reconstitution paysagère, car les essences d'arbres produisent et diffusent globalement plus de pollens que les plantes herbacées (par exemple le chêne (*Quercus sp.*) produit six fois plus de pollens que les Poaceae, l'aulne neuf fois plus, le noisetier deux fois plus cf. tableau des Production Pollinique Européen selon F. Mazier *et al.*, 2012, Fig. 10). Ce sont donc probablement des paysages ouverts qui environnent le site durant le comblement de la mardelle. Les boisements sont bien présents mais probablement assez éloignés du site ou répartis de façon très morcelé.

Rappelons qu'une part probablement assez importante de la composition pollinique dépend d'apport par ruissellement. L'image perçue correspond donc à un environnement assez local.

Les groupements forestiers sont perceptibles par l'intermédiaire des pollens de résineux (Gymnosperme) dont le pin type sylvestre (*Pinus sylvestris*) et des feuillus avec le chêne (*Quercus sp.*), noisetier (*Corylus sp.*), bouleau (*Betula sp.*), tilleul (*Tilia sp.*), hêtre (*Fagus sp.*), aulne (*Alnus sp.*) et frêne (*Fraxinus sp.*) (Fig. 5 et 6).

A partir de ces essences on peut identifier plusieurs types de boisements :

- les boisements de pins. Ces pollens de résineux sont connus pour leurs fortes productions et importantes diffusions polliniques (Fig. 9). Ces pollens sont donc peut-être d'origine lointaine,
- le groupement apparenté à la **chênaie-hêtraie** avec le chêne, le hêtre et dans une moindre mesure le bouleau, le noisetier,
- le groupement apparenté à la **chênaie sessiliflore ou chênaie diversifiée** avec notamment le chêne, le frêne, le bouleau, l'orme, le tilleul, le hêtre,
- les boisements arbustifs (**héliophiles**) identifiés par le noisetier et le bouleau. Ce sont des taxons à large amplitude écologique que l'on peut 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 peuvent correspondre à des **boisements clairs** comme les lisières de forêts caducifoliées, les friches, les haies ou des secteurs en déprise agricole.
- les **boisements hygrophiles** avec l'aulne. Le noisetier et le frêne pourraient aussi faire partie de ces boisements humides, situés près de berges ou à l'intérieur d'une zone alluviale.

L'ensemble de ces boisements connaissent peu d'évolution. On constate toutefois une baisse régulière des taux de pollens de résineux au profit des pollens de chêne et dans une moindre mesure de bouleau, noisetier, aulne et frêne. Il faut néanmoins rester prudent par rapport à une interprétation d'ordre paléo-paysagère, car des raisons taphonomiques pourrait aussi expliquer l'augmentation des pollens de chêne par rapport aux pollens de résineux. Les pollens de résineux sont en effet

plus résistants que les pollens de chêne, ce qui pourrait expliquer leur abondance relative en fond de colonne.

En ce qui concerne les végétations herbacées, on détecte à la fois les **groupements de friches et de jachères** (Poaceae, Asteraceae, *Artemisia sp.*, Cichorioideae, Chenopodiaceae, Caryophyllaceae, *Polygonum sp.*), les **groupements de communautés rudérales, de lieux de pacage, de chemins** (*Plantago sp.* dont *Plantago lanceolata*, Chenopodiaceae, Asteraceae, Caryophyllaceae, Ranunculaceae, *Artemisia sp.*, *Polygonum sp.*, Brassicaceae), de **prairies hygro- à mésophiles pâturées** (Poaceae, *Plantago sp.* dont *Plantago lanceolata*, Cyperaceae, Rubiaceae, Ranunculaceae, *Centaurea nigra*, *Alchemilla sp.*, Lamiaceae, Apiaceae). Cette dernière association pourrait suggérer une agriculture basée sur l'élevage. Des pollens de plantes humides et aquatiques sont aussi régulièrement détectés. L'association des pollens de Juncaceae, Cyperaceae, Rubiaceae, *Sparganium sp.*, *Thalictrum sp.*, *Equisetum sp.*, suggère l'existence de **prairies humides**. Les pollens de plantes aquatiques : Alismaceae, de la famille du nénuphar (*Nymphaea*), lentilles d'eau (*Lemna sp.*) montrent l'existence de **zones inondées** plus ou moins profondes probablement au sein même de la mardelle.

L'association des cultures est perceptible avec l'identification de quelques pollens de céréales (*Cerealia type*) dont probablement de seigle (*Secale type*). Ces attestations restent rares (seulement sept pollens comptés). L'hypothèse de l'existence de cultures est appuyée à la fois par la présence de pollens de plantes adventices (*Centaurea sp.* dont *Centaurea jacea*, *Papaver sp.*) et de plantes rudérales (Chenopodiaceae, Cichorioideae, *Polygonum type aviculare*, *Plantago sp.*).

Le nombre de spores monolètes est très important car environ 500 grains ont été comptés. Les fréquences de ces spores (fougères et mousses) sont souvent aléatoires et difficilement interprétables (Fig. 5 et 6). Ces spores pourraient provenir pour partie des mousses et des fougères situées sur les parois à l'intérieur de la mardelle et dans les environs.

Quelques microrestes non polliniques sont présents, notamment des « amérospores des types HdV-207 et Dictyospores ». Ce sont pour la plupart des microrestes d'origine fongique (champignons) mais dont la signification écologique n'est pas toujours très claire. Deux ascospores de groupe coprophile (HdV-55), indicateur de matières fécales, voire d'élevage ont été identifiés dans le prélèvement n°2. Enfin, les microrestes hyalins type HdV-181 seraient caractéristiques d'eaux stagnantes peu profondes (Cugny, 2011). Quelques spores algales et supposées de type HdV-954 rappellent aussi le caractère humide du contexte de dépôt.

4. SYNTHÈSE

Cette étude apporte des informations de compréhension du site sous l'angle de la palynologie.

Les prélèvements étudiés permirent d'obtenir des concentrations polliniques assez « moyennes » (de 2300 à 18900 grains / mL) avec toutefois des diversités intéressantes (de 24 à 35 taxons sporo-polliniques) (Fig 8).

La conservation pollinique semble relativement bonne. Les Cichorioïdées, taxons particulièrement résistants, apparaissent certes sur-représentés mais le nombre de pollens comptés et les diversités taxonomiques accréditent les résultats de l'étude. Le contexte sédimentaire semble donc être resté suffisamment stable et à l'abri de l'oxygène pour permettre une conservation pollinique correcte.

Le contexte de la mardelle amène à s'interroger sur le mode de déposition des pollens. En effet, contrairement aux analyses polliniques réalisées dans des contextes de dépôts sédimentaires « naturels », où la pluie pollinique est avant tout associée à des apports aériens, la composition pollinique analysée dans le comblement de la mardelle est probablement en partie liée aux ruissellements des espaces environnants donnant ainsi surtout une image de la végétation locale.

L'étude des associations polliniques a permis d'identifier un paysage ouvert, constitué de groupements végétaux **de friches et de jachères, de végétations rudérales** (chemins, lieux de pacage) de **prairies hygro- à mésophiles pâturées** et de **cultures** (identification de pollens de céréales dont probablement le seigle). Notons que la détection à la fois de l'association de prairie hygro- à mésophiles pâturées et de quelques ascospores de groupe coprophile (HdV-55) appuient l'hypothèse de la pratique de **l'élevage** dans les environs.

Des végétations de **prairies humides et de zones inondées** devaient aussi environner la mardelle.

Des formations de **résineux** (dont pins) de **chênaie-hêtraies** et de **chênaies diversifiées**, de **boisements clairs** et de **boisements humides** sont aussi perçues, mais elles devaient être assez clairsemées dans le paysage ou relativement éloignées de la mardelle.

Les proportions des différents groupements végétaux sont relativement stables tout au long de la colonne. Par exemple, le taux de pollens d'arbres oscille entre 30 et 40 % sans montrer de tendance. Ce constat pourrait être lié à un comblement assez rapide de la mardelle, n'ayant pas permis d'enregistrer des modifications paysagères sur un temps suffisamment long.

5. BIBLIOGRAPHIE

BARBIER D., 1999 - Histoire de la végétation du nord-mayennais de la fin du Weischelien à l'aube du XXIème siècle Mise en évidence d'un Tardiglaciaire armoricain Interactions Homme-Milieu. Thèse de doctorat, Université de Nantes, Editions Groupe d'Etude des Milieux Naturels, Nantes, tome I, texte : 284 p., tome II, illustration : 63 Figures.

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

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

GAUDIN L., 2020 - Tests palynologiques réalisés en stratigraphie à l'intérieur du comblement d'une mardelle lors de l'opération archéologique de Mompach à Pafebierg (Luxembourg). Opération 2019-080, Z. Décap ST2 LOG1. 18p.

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

MAZIER F., GAILLARD M. J., KUNEŠ P., SUGITA S., TRONDMAN A. K., BROSTRÖM A., 2012 - Testing the effect of site selection and parameter setting on REVEALS-model estimates of plant abundance using the Czech Quaternary Palynological Database." *Review of Palaeobotany and Palynology* no. 187 p. 38-49. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.revpalbo.2012.07.017>.

OUGUERRAM A., 2002 - Histoire de la vallée de l'Erdre (affluent de la Loire, Massif armoricain, France) de la fin du Tardiglaciaire aux époques actuelles. Thèse de doctorat, Université de Moulay Ismaïl de Meknès (Maroc), Editions Groupe d'Etude des Milieux Naturels, 121 p., 24 Figures.

REILLE M., 1990 - Leçon de palynologie et d'analyse pollinique. CNRS, Paris, 206p.

REILLE M., 1992 - *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord.*, Ed. Louis-Jean, Gap, 520 p.

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

VAN GEEL B., APTROOT A., 2006 - Fossil Ascomycetes in Quaternary deposits. *Nov Hedw*, 82, p. 313-329.

6. FIGURES

Taxons \ Code Prélèvements		PLV 2	PLV 6	PLV 9	PLV 12	PLV 14
Pollens	Gymnosperme	9	7	24	11	21
	Abies	0	0	1	0	0
	Pinus	7	1	6	6	11
	Pinus sylvestris	1	2	3	3	5
	Quercus	30	41	29	16	19
	Ulmus	1	0	0	0	0
	Tilia	0	1	1	0	0
	Fagus	0	1	4	2	1
	Corylus	7	7	3	2	5
	Betula	1	3	3	0	0
	Alnus	4	9	1	0	1
	Fraxinus	3	1	0	0	0
	POACEAE	59	45	68	11	32
	CICHORIOIDEAE	6	41	60	33	28
	ASTERACEAE	3	10	30	3	6
	Artemisia	0	0	1	0	0
	CARYOPHYLACEAE	6	3	1	2	1
	CHENOPODIACEAE	5	6	8	9	7
	BRASSICACEAE	0	0	3	1	0
	Polygonum type aviculare	0	1	2	1	0
	Plantago	7	3	26	4	3
	Plantago lanceolata	5	7	15	6	8
	Cerealia type	2	0	1	2	1
	Secale type	0	1	0	0	0
	Papaver	0	1	0	0	0
	Centaurea	0	0	0	0	1
	Centaurea type nigra	1	6	7	7	4
	Centaurea type jacea	0	0	0	1	0
	RANUNCULACEAE	12	4	1	2	1
	LAMIACEAE	0	0	0	1	0
	FABACEAE	0	0	1	0	0
	Alchemilla	0	1	0	1	3
	APIACEAE	0	0	4	0	0
	RUBIACEAE	1	0	0	0	0
	Thalictrum	3	0	0	0	0
	CYPERACEAE	47	27	12	12	13
JUNCACEAE	0	0	0	0	1	
Sparganium	6	0	1	0	0	
Lemna	2	0	4	3	6	
ALISMACEAE	24	0	0	0	0	
Nymphaea	0	0	1	0	0	
Potamogeton	0	0	1	0	0	
Spores	Asplenium	0	0	0	1	0
	Equisetum	1	1	1	0	0
	Ophioglossaceae	1	0	1	0	0
	Spore monolète	191	72	73	80	90
	Selaginella	0	0	1	0	0
	Spore trilète	2	5	5	3	3
Non pollinique	Concentricyste	4	4	2	2	4
	Ascospores gp coprophiles – Type HdV-55 – Sordariales	2	0	0	0	0
	Amérospores – Type TM-505	0	0	0	0	1
	Amérospores – Type HdV-207	70	49	72	51	62
	Microrestes hyalins – HdV-181 ou 182	5	8	13	3	19
	Dictyosporés – Type HdV-200	1	0	0	0	0
	Dictyosporés – Type TM-329	0	1	0	0	0
	Spores algales et supposées – HdV-954	0	0	0	1	0
	Phytolithes	0	2	10	2	0
	Microcharbons	71	273	171	159	188
	Indéterminés	5	3	7	2	1
	SOM. pollen (somme de base)	252	229	322	139	178
	SOM. Sporo-pollinique	447	307	403	223	271
CONC. ABS Pollen (nb / cm3)	10678	10657	8476	1449	4335	
CONC. ABS Pollen et Spores (nb / cm3)	18941	14286	10608	2325	6600	

Figure 5. Opération archéologique du lieu-dit Pafebiereg sur la commune de Mompach (Luxembourg). Comptages correspondant aux pollens, spores et quelques autres types de fossiles non polliniques déterminés. Les valeurs grisées correspondent à des sommes polliniques, sommes sporo-polliniques et pour les deux dernières lignes à des concentrations absolues de pollens et de spores + pollens. Les concentrations absolues sont exprimées en nombre de grains par cm³ de sédiment.

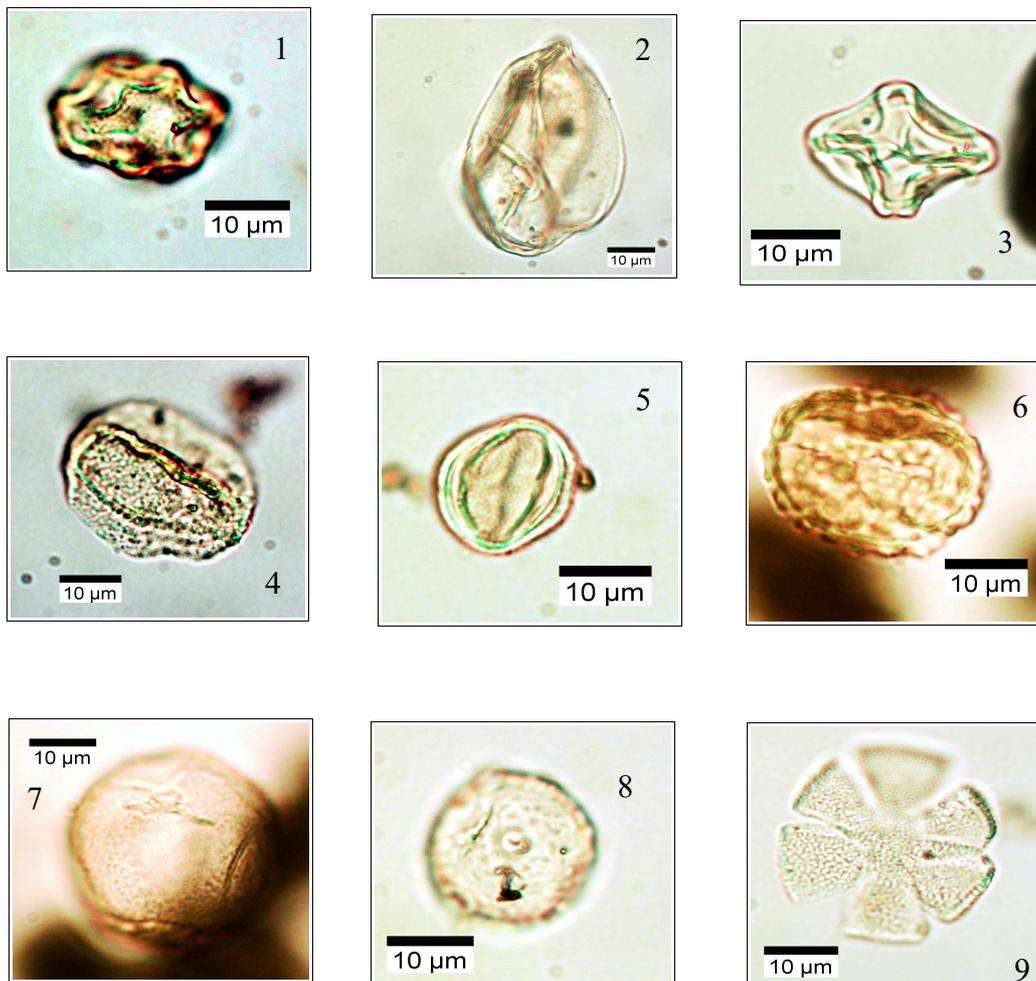


Figure 7. Photographies de pollens sous microscope optique à immersion, grossissement x1000. Les échelles représentent des micromètres. 1. PRV 2 – Pollen d'*Alisma* sp. ; 2. PRV 2 – Pollen de céréale (*Cerealia* sp.) ; 3. PRV 6 - Pollen d'aulne (*Alnus* sp.) ; 4. PRV 6 - Pollen de chêne (*Quercus* sp.); 5. Pollen d'armoise (*Artemisia* sp.) ; 6. PRV 9 - Pollen de Centaurea (*Centaurea* sp.) ; 7. PRV 9 – Pollen de hêtre (*Fagus sylvatica*) ; 8. PRV 9 – Pollen de plantain (*Plantago* sp.) ; 9. PRV 12 - Pollen de la famille des Lamiacées ;

Code des prélèvements	Nombre de pollens comptés	Nombre de spores comptés	Nombre de Lycopodes introduits comptés	Concentration absolue pollen et spores	Concentration absolue pollen uniquement	Etat de conservation	Diversité taxonomique	Taxons remarquables
PLV 2	252	447	123	18941	10678	Très favorable	29	Cerealia type
PLV 6	229	307	112	14286	10657	Bon	27	Cerealia type seca
PLV 9	322	403	198	10608	8476	Moyen	35	
PLV 12	139	223	500	2325	1449	Faible	26	
PLV 14	178	271	214	6600	4335	Moyen	24	

Figure 8. Nombre de pollens et de spores comptés, nombre de grains par cm³ de sédiment, diversité taxonomique, états de conservation estimés pour chaque prélèvement.

Taxon	Production pollinique relative/Poaceae PPE (SE)	Vitesse de chute dans l'air des grains de pollen (m/s)
Abies	6.88 (1.44)	0.120
Alnus	9.07 (0.10)	0.021
Artemisia	3.48 (0.20)	0.025
Betula	3.09 (0.27)	0.024
Calluna vulgaris	0.82 (0.02)	0.038
Carpinus	3.55 (0.43)	0.042
Ceralia-t	1.85 (0.38)	0.060
Corylus	1.99 (0.20)	0.025
Fagus	2.35 (0.11)	0.057
Filipendula	2.81 (0.43)	0.006
Fraxinus	1.03 (0.11)	0.022
Juniperus	2.07 (0.04)	0.016
Picea	2.62 (0.12)	0.056
Pinus	6.38 (0.45)	0.031
Plantago lanceolata	1.04 (0.09)	0.029
Plantago media	1.27 (0.18)	0.024
Plantago montana	0.74 (0.13)	0.030
Poaceae	1.00 (0.00)	0.035
Quercus	5.83 (0.15)	0.035
Rumex acetosa-t	2.14 (0.28)	0.018
Salix	1.22 (0.11)	0.022
Secale	3.02 (0.05)	0.060
Tilia	0.80 (0.03)	0.032
Ulmus	1.27 (0.05)	0.032

Figure 9. Tableau récapitulatif des valeurs moyennes des productions polliniques européens et des vitesses de chute dans l'air des grains de pollen des taxons étudiés (d'après Mazier *et al.*, 2012).

7. ANNEXE

7.1. Détail du protocole d'extraction utilisé :

Afin d'isoler et de concentrer les grains de pollen, le protocole utilisé au sein de l'UMR EPOC comporte les étapes suivantes :

Préparation du sédiment

1- Le sédiment (environ 5g) est séché à l'étuve à 40°C pendant une nuit ou plus, suivant la teneur en eau.

Estimation du volume de sédiment

2- Dans une éprouvette de 25cc en polypropylène, mettre 15cc d'eau distillée. Poser celle-ci sur une balance, faire la tare, puis ajouter le sédiment. La colonne d'eau augmente, enregistrer le poids ainsi que le volume.

Lavage du sédiment

Ce lavage permet de travailler sur deux proxies. La fraction supérieure est récupérée pour, en particulier, l'étude des foraminifères, et la fraction inférieure pour l'étude des pollens et dinoflagellés.

3- Prendre un tamis de maille 150µm et de diamètre 10cm, le poser sur un bécher de 1000ml. Vider le contenu de l'éprouvette sur le tamis, et laver délicatement à l'eau du robinet. Lorsque le résidu > à 150µm est propre, bien le rincer à l'eau distillée et le récupérer dans une coupelle toujours avec de l'eau distillée. La fraction inférieure récupérée dans le bécher est mise à décanter pendant 48h minimum. Ne pas oublier de couvrir les bécher pour éviter toute pollution.

Attaque à l'acide chlorhydrique (HCl)

Cette attaque permet d'éliminer tous les organismes et particules calcaires.

4- Aspirer l'eau à l'aide d'une trompe à vide. Celle-ci est équipée, à l'extrémité du tuyau, d'un embout en plastique présentant un angle de 90° par rapport à la paroi du bécher. Cet embout permet d'éviter toute aspiration accidentelle du résidu décanté au fond du bécher. Récupérer le résidu dans un tube de 100ml à fond rond en polypropylène.

5- Centrifuger 7mn à 2500tr/mn. Eliminer l'eau, remettre en suspension avec l'agitateur. Mettre une ou deux pastilles de Lycopodes dans le tube, le nombre de pastilles étant défini en fonction de la concentration supposée en pollen ou en dinoflagellés. Elles permettent d'estimer les concentrations en palynomorphes.

6- L'attaque à l'HCl à **froid** se fait en trois étapes. Une première attaque à **10%**, remuer à l'aide d'une baguette d'agitation en verre, laisser agir quelques minutes, si le sédiment est riche en carbonates il est important de commencer par l'HCl à faible concentration afin d'éviter une importante effervescence et également un débordement des tubes. Continuer par de l'HCl à **25%** attendre quelques minutes et terminer par de l'HCl à **50%**. Cette dernière attaque est essentielle pour la suite de la manipulation. Bien s'assurer que la réaction est terminée en ajoutant de l'HCl à 50%. Lorsqu'il n'y a plus d'effervescence dans le tube, la réaction est terminée.

Attaque à l'acide fluorhydrique (HF)

Cette attaque permet d'éliminer la silice et les silicates.

7- Centrifuger les tubes de 100ml pendant 7mn à 2500tr/mn et éliminer le surnageant. Remettre le culot en suspension avec l'agitateur, puis mettre environ 40 à 50cc d'HF à **45% à froid**. Fermer les tubes avec le bouchon approprié et les poser sur le secoueur, laisser agiter pendant 4 à 5h. Bien respecter la concentration de l'HF, car une concentration supérieure peut entraîner une forte effervescence, avec risque de perte de sédiment.

8- Centrifuger à nouveau les tubes, 7mn à 2500tr/mn, éliminer le surnageant. Remettre en suspension avec l'agitateur, puis mettre environ 40 à 50cc d'HF à **70% à froid**. Poser les tubes sur le secoueur, laisser agiter pendant **28 à 30h**.

Note : Attention pour faire cette manipulation il est impératif de respecter les mesures de sécurité, mettre des longs gants, ainsi que des lunettes. Travailler toujours sous hotte aspirante bien fermée. Travailler également les tubes toujours fermés.

Deuxième attaque à l'acide chlorhydrique (HCl)

Elimination des fluorosilicates.

9- Centrifuger les tubes, 7mn à 2500tr/mn, éliminer le surnageant. Remettre en suspension avec l'agitateur, puis mettre environ 40 à 50cc d'HCL à **25% à froid**. Poser les tubes sur le secoueur, laisser agiter pendant 15mn.

Note : Il est très important de faire cette attaque à l'HCl avant de rincer à l'eau distillée. Des risques de formation de fluorures peuvent avoir lieu et donc gêner le reste de la manipulation.

Rinçage

10- Centrifuger les tubes, 7mn à 2500tr/mn, éliminer le surnageant. Remettre en suspension le culot avec l'agitateur, remplir les tubes d'eau distillée. Centrifuger les tubes, 7mn à 2500tr/mn. Eliminer l'eau, les résidus sont prêts pour la filtration.

Filtration

Cette opération nécessite la mise en œuvre d'un système de filtration. Ce matériel est posé sur une fiole à vide de 2l reliée à une trompe à vide.

11- Remettre en suspension le culot avec l'agitateur et verser une partie ou la totalité du résidu, suivant la concentration, sur le filtre en nylon de maille 10µm. Rincer à l'eau distillée avec une pissette de 50ml. La contenance de la pissette est essentielle car elle permet de l'avoir bien en main et donc de presser suffisamment fort pour avoir un jet assez puissant pour la filtration. Lorsque cela colmate, mettre 20 à 40s d'ultrasons et rincer abondamment, en même temps, avec la pissette. Le succès de cette opération est basé sur la coordination entre les ultrasons et la pissette. Il est important de bien gérer le temps des ultrasons, car l'abus peut casser les microorganismes.

12- Récupérer le résidu, une fois bien lavé, avec la pissette dans un tube à fond conique de 50ml en polypropylène. Bien froisser le filtre entre les doigts pour décoller éventuellement les micro-organismes qui pourraient rester sur le filtre.

13- Centrifuger les tubes, 7mn à 2500tr/mn, éliminer le surnageant à l'aide de la trompe à vide munie de l'embout à 90°. Transvaser le résidu avec de l'eau distillée dans un tube

à fond conique de 8cc en plastique. Centrifuger les tubes, 7mn à 2500tr/mn, éliminer le surnageant toujours avec la trompe à vide. Le résidu est prêt pour le montage.

14 – En fonction du caractère organique du résidu il est parfois nécessaire d'effectuer un traitement supplémentaire au HNO₃ : Séparation du culot en 2 puis sur une moitié, attaque HNO₃ 2mn, filtration 10 μ , 20s Ultra son, 2mn HNO₃, filtration 10 μ

Montage

Montage à la glycérine bidistillée phénolée (lames mobiles)

Cette technique de montage est utilisée pour l'étude des grains de pollen.

14b- Poser une lame sur la plaque chauffante (T° 200°C-250°C), mettre sur celle-ci une goutte de glycérol (*voir annexes*), ajouter quelques gouttes de résidus, doser suivant la concentration voulue. Laisser évaporer l'eau. Pendant ce temps préparer la lamelle en posant sur les longueurs de la lamelle de l'histolaque. Une fois l'évaporation terminée poser la lamelle sur la lame. Retirer la lame de la plaque chauffante et luter les deux côtés restants.

Conservation

15- Pour la conservation remplir les tubes de 8cc d'eau distillée, puis ajouter quelques gouttes de glycérine bidistillée phénolée

Annexes

- Fournisseur des pastilles de lycopodes

Lund University
Department of Geology
Quaternary Sciences
Sölvegatan 12
SE-223 62 Lund
Sweden
Fax : 46-46-2224830

- Fournisseur des filtres de 10 μ m

Saulas et Cie
5, rue des epinettes
BP 20
10160 Paisy cosdon
fax : 03 25 40 74 87

- Préparation de la gélatine glycinée

Mettre dans un bécher 10g de gélatine plus 34,2cc d'eau distillée. Laisser reposer pendant 2h à froid sans agitation. Ensuite, ajouter 51cc de glycérol à 98% plus 1g de phénol. Chauffer jusqu'à complète dissolution. La solution se solidifie à froid. Lors du montage mettre le bécher sur la plaque chauffante.

- Préparation du glycérine bidistillée phénolée pour la conservation

Mettre dans 1l de glycérol à 98% 1% de phénol.

7.2. Description des échantillons et des traitements

Site / Opération	Numéro d'US	Masse totale (g)	RQ
Mompach, 2019-080-ST2 LOG1	PR02 (1.05m)	15	Couche minérale gris
Mompach, 2019-080-ST2 LOG1	PR06 (1.25m)	23	Couche minérale gris
Mompach, 2019-080-ST2 LOG1	PR09 (1.42m)	29	Couche minérale gris
Mompach, 2019-080-ST2 LOG1	PR12 (1.6m)	28	Couche minérale gris
Mompach, 2019-080-ST2 LOG1	PR14 (1.72m)	40	Couche minérale gris

Figure 10. Description des prélèvements avant extraction pollinique

SERIE N°	Coul (N,B,R,V)	Sol Exotique (lycopodes..)	Nombre grains	Num (1-8)	NOM DE LA CAROTTE	VOL	HCL	HF 48%	HF 70%	filtration 5/10/15 microns	filtration Ultrason(s)	Type de montage (G,L)	Date de montage	NB de lame	Résidu (I,M,F,N)
2395	B	lycopodes	20848	A	PR 02	4	X	X	X	10	40	L	14/1/20	1	M
2395	B	lycopodes	20848	B	PR 06	4	X	X	X	10	40	L	14/1/20	1	M
2395	B	lycopodes	20848	C	PR 09	4	X	X	X	10	40	L	14/1/20	1	M
2395	B	lycopodes	20848	D	PR 12	4	X	X	X	10	40	L	14/1/20	1	M
2395	B	lycopodes	20848	E	PR 14	4	X	X	X	10	40	L	14/1/20	1	M

Figure 11. Description des traitements réalisés pour l'extraction pollinique (UMR EPOC).