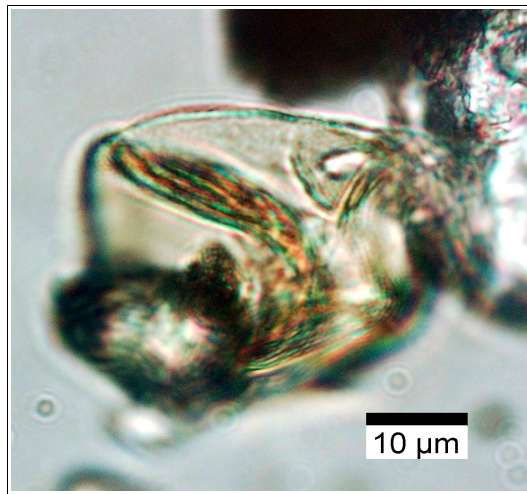




ArkéoMap

ANALYSES SCIENTIFIQUES DES DÉCOUVERTES ARCHÉOLOGIQUES : ANALYSES PALYNOLOGIQUES



**ANALYSE PALYNOLOGIQUE D'UN PRÉLÈVEMENT ARCHÉOLOGIQUE
RÉALISÉ LORS DE L'OPÉRATION DU SITE « LES TONNELLES »
SUR LA COMMUNE DE BELLEVIGNY (VENDÉE).**

OCCUPATIONS PROTOHISTORIQUES (SECOND ÂGE DU FER).

OPÉRATION : 2023

ARCHEODUNUM SAS

Rapport d'analyses palynologiques

Juin 2025

Archeodunum SAS - Agence de Lyon
500, rue Juliette Récamier - 69970 Chaponnay

Analyse palynologique d'un prélèvement réalisé lors de l'opération du site « Les Tonnelles », commune de Bellevigny (85).

OA : 2023

Références de l'échantillon étudié :

Prélèvements retenus :

PR n°1048 (US 1010.54) : fossé F1010 : Enclos A (IVe s. av. J.-C.) ;

Rapport d'analyses palynologiques

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

Juin 2025

Illustration de la page de couverture : Pollen de céréale (Cerealia type). Grossissement x1000. L'échelle représente des micromètres. Prélèvement n° 1048.

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	4
1. PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS, STRATIGRAPHIE et OBJECTIFS.....	5
2. TRAITEMENT CHIMIQUE et OBSERVATION DES ECHANTILLONS.....	8
2.1 Le protocole d'extraction utilisé.....	8
2.2 Les comptages et déterminations.....	8
2.3 Le diagramme pollinique	10
3. RESULTATS, INTERPRETATION.....	11
3.1. Analyse critique des résultats.....	11
3.2. Interprétation des résultats.....	12
4. SYNTHESE	14
5. BIBLIOGRAPHIE.....	16
6. FIGURES.....	18
7. ANNEXE.....	22
7.1. Détail du protocole d'extraction utilisé :.....	22
7.2. Description des échantillons et des traitements	25

INTRODUCTION

L'opération archéologique est située sur le site « Les Tonnelles » sur la commune de Bellevigny (85). La fouille concerne plusieurs occupations du Second âge du Fer. Deux enclos ont été mis au jour.

Les échantillons étudiés ont été prélevés directement en stratigraphie à l'intérieur des comblements de deux fossés d'enclos :

- Un fossé d'enclos « A » en arc de cercle probablement daté aux alentours du IV^e siècle av. J-C (Fossé 1010 – sondage 1036),
- à l'extrémité d'un fossé d'enclos « B », au niveau de l'accès principal, daté de La Tène finale (Fossé F1542 – sondage 2039).

L'analyse de ce rapport fait suite à la réalisation de tests polliniques visant à mesurer la conservation pollinique à l'intérieur de six échantillons (Fig. 4). Ces premiers résultats montrèrent des conservations hétérogènes. Un seul des six prélèvements a été jugé suffisamment intéressant (en termes de qualité et de quantité de pollens) pour mener des analyses complémentaires (Gaudin, 2025). Nous avons donc poussé l'étude de manière à obtenir un « spectre pollinique » sur la base de cet unique prélèvement (Prélèvement n°1048, fossé F1010).

Cette opération a été menée par la société ARCHEODUNUM. La fouille ci-présente a été dirigée par M. Rémy Rollet, responsable d'opération.

1. PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS, STRATIGRAPHIE et OBJECTIFS

Les six prélèvements testés proviennent de comblements de deux fossés d'enclos. Ils ont été directement réalisés en stratigraphie (Fig. 1 et 3).

INVENTAIRE PALYNOLOGIQUE	
Commune :	Bellevigny (85)
Nom de l'opération / Lieu-Dit :	Les Tonnelles
Année :	2023
N° OA :	
Resp. d'Op. ; commanditaire	Rémy Rollet
Type d'opération :	Préventif
Période d'analyse pressentie	Avril – juin 2025

Faits	Sondages	Identifiants	Faits et US	Masses envoyées (g)	Description du sédiment	Ech. Retenu pour analyse complète
F1010	SD1036	PR1048	US 1010.54	41	Argile grise clair, peu oxydé orangé, très peu sableuse, homogène et meuble.	Oui
		PR1049	US 1010.55	36	Argile hydromorphe grise clair homogène et très meuble.	Non
F1542	SD2039	PR2044	US 1542.7	40	Argile plastique gris et bleu meuble homogène, céramique, très rares oxydations.	Non
		PR2046	US 1542.10	45	Argile et limon gris orangé et de nombreux blocs de granite rouge sûrement chauffés, un peu compact et homogène.	Non
		PR2042	US 1542.14	48	Argile peu plastique gris bleu, meuble, homogène, rares charbons microscopiques.	Non
		PR2040	US 1542.15	53	Argile plastique gris légèrement orange, rares oxydations, meuble, homogène.	Non

Figure 1. Inventaire des prélèvements sélectionnés pour les tests puis retenus pour des analyses « complètes ».

Les descriptions archéologiques des deux fossés d'enclos d'où ont été prélevés les échantillons, permettent de déduire des attributions chronologiques ainsi que quelques éléments d'interprétations :

- Le fossé d'enclos « A » en forme « d'arc de cercle » est probablement daté aux alentours du IV^e siècle av. J-C (Fossé 1010 – sondage 1036), il a fait l'objet des prélèvements n°1048 et n°1049 (non retenu) (Fig. 3).
- une autre série de prélèvement a été réalisée à l'extrémité d'un fossé d'enclos « B », au niveau de l'accès principal, daté de La Tène finale (Fossé F1542 – sondage 2039) (prélèvements n°2040, 2042, 2046 et 2044, tous négatifs) (Fig. 5 2).

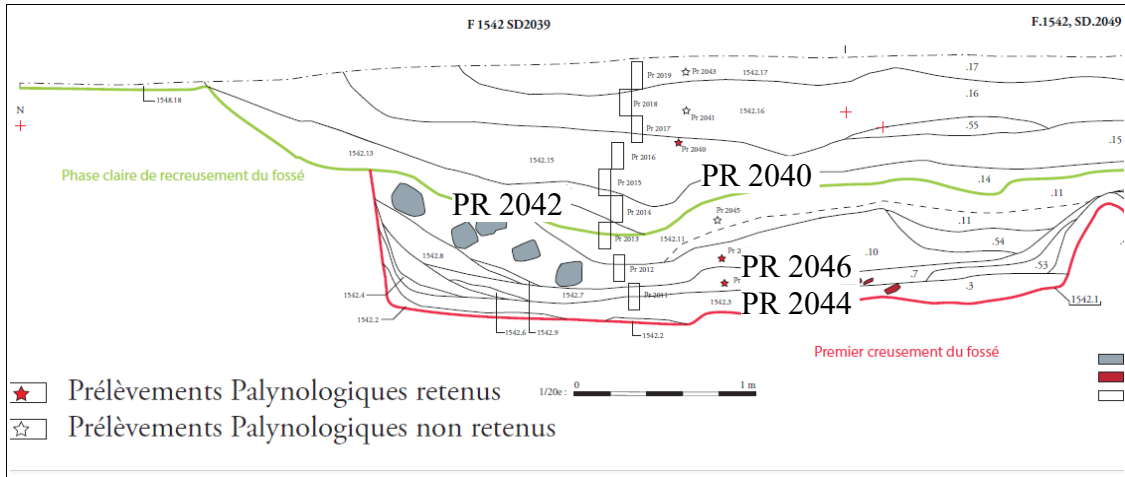


Figure 2. Extrait du relevé stratigraphique et photographie du comblement du fossé F 1542. Contexte et positions des prélèvements (PR2044, PR2046, PR 2042, PR2040) .

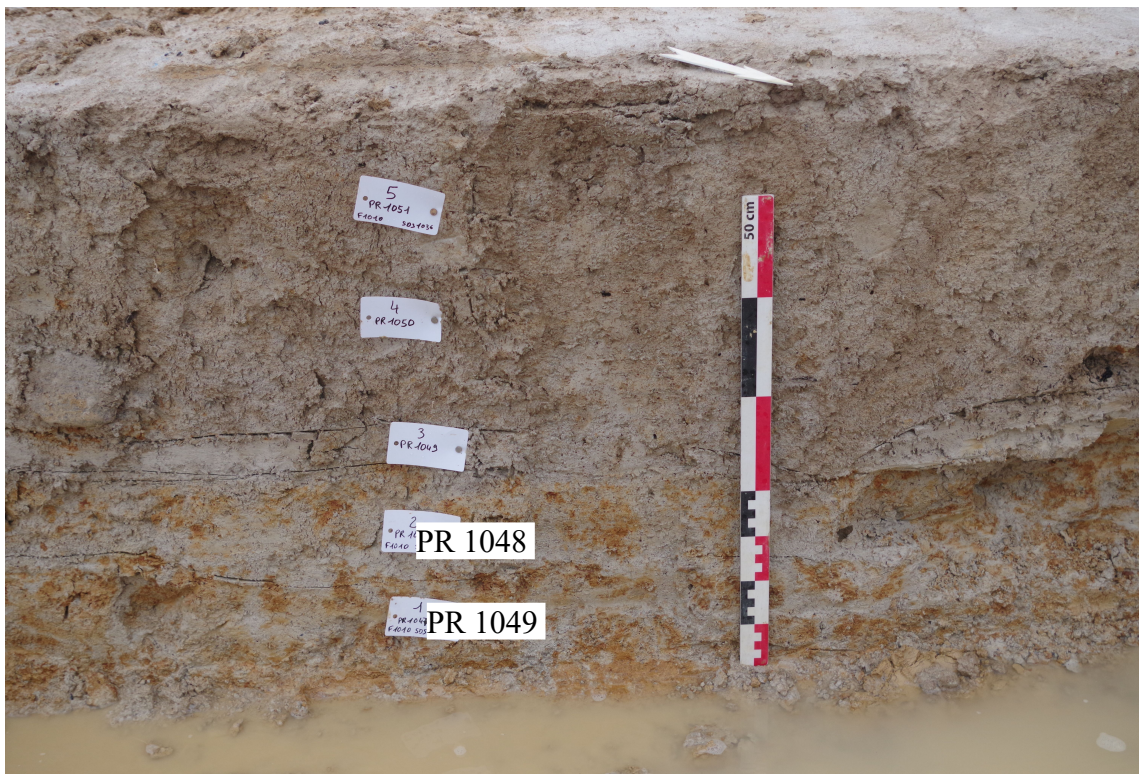


Figure 3. Photographie de la stratigraphie du comblement du fossé F1010. Contexte et positions des prélèvements (PR1048 et PR 1049) .

Les contextes archéologiques sont peu favorables à la conservation pollinique car sous nos latitudes, ce sont généralement les conditions sédimentaires anaérobies, souvent des sols saturés d'eau, qui peuvent permettre de limiter la biodégradation des pollens.

Toutefois, des contextes de fond de fossés ayant maintenu des conditions d'humidité suffisantes, sont susceptibles de réunir de telles conditions anaérobies favorables à la conservation pollinique. Dans le cas ci-présent, seuls des tests pouvaient permettre d'obtenir une information sur le potentiel palynologique des prélèvements (Gaudin, 2025).

Code des prélèvements	Nombre de pollens comptés	Nombre de spores comptés	Nombre de Lycopodes introduits comptés	Concentration absolue pollen spores	Concentration absolue et pollen uniquement	Etat de conservation	Diversité taxonomique	Indice de potentiel d'étude	Remarque
PR1048 ; US 1010.54	36	64	8	30572	17197	Bon	12	2	
PR1049 ; US 1010.55	1	108	13	31748	294	Très mauvais	4	5	
PR2044 ; US 1542.7	4	62	41	5201	336	Mauvais	8	3 à 4	P. Céréale
PR2046 ; US 1542.10	0	53	25	8102	0	Très mauvais	2	5	
PR2042 ; US 1542.14	12	65	37	6714	1239	Mauvais	7	4	
PR2040 ; US 1542.15	0	55	31	6102	0	Très mauvais	1	5	

Figure 4. Opération archéologique du site « Les Tonnelles » sur la commune de Bellevigny (85). Tableau synthétisant les sommes, les concentrations absolues en spores et pollens (en nb/mL de sédiment) ainsi que la diversité taxonomique de chaque prélèvement suite aux résultats des tests palynologiques (extrait de Gaudin, 2025). Un ordre des « potentialités d'analyses » des échantillons est proposé en tenant compte des résultats des tests (l'indice de 1 correspondant à un test très favorable, l'indice 5 correspondant à un résultat très défavorable).

Les résultats des tests révélèrent des conservations polliniques hétérogènes (Fig. 4 et 12). Cinq des six prélèvements montrèrent des concentrations polliniques faibles avec des valeurs ne dépassant guère les 1000 pollens / mL (prélèvements n°1049, 2044, 2046, 2042 et n°2040).

Seul le prélèvement n°1048 (US 1010.54) a été retenu pour une analyse complète, objet de ce rapport.

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 5. 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 Lycopes 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).

Remarque par rapport à la détection des pollens de « *Cerealia type* » :

La différenciation entre pollens issus de Poacées «sauvages » et Poacées « cultivées » (céréales) repose sur des critères biométriques (Heim, 1970 ; Visset, 1974 ; Chester P. I. et Ian Raine, 2001). Afin de limiter au maximum les erreurs de détermination, seuls les pollens de Poacées dont la taille est comprise entre 40 et 60µm, et dont le diamètre extérieur du pore aréolé est supérieur à 10µm peuvent être considérés comme étant des « céréales type » (Chester P. I. et Ian Raine, 2001). Le taxon « *Cerealia type* » indiqué dans les diagrammes du rapport correspond à ce type de pollen.

Ces critères anatomiques ont cependant été remis en cause par certains chercheurs (Planchais N., 1971 ; Heim J., 1970 ; Lopez Saez *et al.*, 2003) qui évoquent la ressemblance dimensionnelle entre les pollens de céréales et ceux de Poacées naturels (ex. genre *Glyceria sp.*, *Elymus sp.*, *Agropyrum sp.*).

Aussi, lorsque des grains de « type céréale » sont observés de manière sporadique il est prudent avant de les interpréter comme céréales, de s'intéresser à l'ensemble des indices anthropiques (ex. ouverture du paysage) ainsi que des cortèges floristiques de plantes adventices (ex. *Centaurea sp.*, *Rumex sp.*) ou de plantes rudérales (ex. Urticacées) qui peuvent rendre cohérente ou non la détermination.

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. 7).

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 (Voetzel, 1987 ; 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 unités stratigraphiques,
- 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 d'herbacées) 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 et aquatiques. Au sein des herbacées, les taxons sont ordonnés par leurs affinités écologiques,
- les courbes individuelles continues des spores de Ptéridophytes, des Bryophytes puis des microfossiles non polliniques.

Remarque :

- Lorsqu'un taxon n'est représenté que par une ou deux occurrences seulement (moins de 1%), il est matérialisé sur le diagramme par un point.
- les fréquences des spores et des microfossiles non polliniques sont calculées sur la base des sommes polliniques.

3. RESULTATS, INTERPRETATION

Les résultats sont donnés sous la forme d'un tableau de comptages et d'un diagramme représentant les effectifs des différents pollens, spores et micro-fossiles non polliniques observés (Figures 7 et 8).

3.1. Analyse critique des résultats

Plus de 330 pollens ont été observés pour ce prélèvement.

La détection en quantité des spores de Lycopodes introduits dans les volumes extraits (54 Lycopodes) témoigne de la réussite du traitement physico-chimique d'extraction du matériel sporo-pollinique (Fig. 10).

La concentration pollinique obtenue est de l'ordre de 24000 pollens / mL ce qui correspond à une concentration assez importante.

De plus, une trentaine de taxons y ont été identifiés (Fig. 7 et 10). Cette diversité pollinique permet de raisonner sur les associations polliniques.

Les pollens les plus résistants à la corrosion (ex. Asteracées, Cichorioïdées, résineux, spores monolètes) n'apparaissent pas particulièrement sur-représentés. Ce constat est un indice d'une bonne conservation pollinique globale et l'absence de conservation différentielle. La composition pollinique observée pour le prélèvement n°1048 est donc probablement assez fidèle au dépôt pollinique initial.

Notons que le fossé a dû constituer un capteur ouvert à la fois à la pluie pollinique « aérienne », correspondant potentiellement à des pollens de provenances lointaines, mais aussi et peut-être surtout à des grains apportés par le ruissellement et les divers apports depuis les surfaces environnantes.

On peut supposer qu'un certains nombre de pollens détectés découlent directement des activités humaines qui se déroulèrent à l'intérieur et dans les environs immédiats de l'enclos. Les pollens de céréale et de chanvre/houblon sont potentiellement liés à des activités de traitement des céréales (ex. battage) et de traitement du chanvre (ex. rouissage). Notons aussi l'observation de quelques micro-fossiles non polliniques du type « ascospores du groupe coprophile Sordariales (Type HdV 55) » significatifs d'excréments en décomposition.

3.2. Interprétation des résultats

339 pollens et 182 spores ont été observés pour ce prélèvement montrant une composition sporo-pollinique assez diversifiée (26 taxons).

La proportion des pollens d'arbres représente environ 13% des pollens (Fig. 7 et 8). Cela correspondrait à un paysage largement ouvert. Il faut toutefois considérer ce résultat en tenant compte du contexte de piégeage des pollens (en fossé) favorisant un mode de déposition par ruissellement plutôt que le dépôt aérien. Les végétations régionales (ex. les forêts notamment) sont donc potentiellement moins bien représentées que les végétations locales.

Les pollens d'arbres correspondent surtout à des grains de chêne (*Quercus sp.*) et de résineux, de type pin (*Pinus sp.*) et sapin (*Abies sp.*).

Les pollens de chêne et d'orme (*Ulmus sp.*) pourraient provenir de **boisements de type chênaie diversifiée** voire de **chênaie-hêtraie** ponctuant le paysage local.

Des boisements hygrophiles réduits ou éloignés sont perçus par l'intermédiaire de quelques pollens d'aulne (environ 1,5 %) et potentiellement d'orme.

Enfin quelques pollens de résineux (environ 4%), probablement d'origine lointaine, ont aussi été détectés.

Les compositions polliniques correspondant aux végétations herbacées sont très largement dominées par les pollens de Poacées (environ 65% des pollens).

Les associations polliniques en présence permettent d'interpréter les groupements de **prairies hygro- à mésophiles pâturées** (Poaceae, Cyperaceae, Asteraceae, *Centaurea type nigra*, Apiaceae), les groupements de **friches et de jachères** (Poaceae, Asteraceae, Cichorioïdeae, Chenopodiaceae, *Rumex sp.*, Caryophyllaceae, Brassicaceae). Dans une moindre mesure, on perçoit aussi **les groupements de communautés rudérales, de lieux de pacage, de chemins** (*Plantago sp.*, Chenopodiaceae, Asteraceae, Caryophyllaceae, Poaceae, Apiaceae) et de **landes** (Ericaceae, Asteraceae dont *Centaurea nigra*, Poaceae).

L'association des cultures est interprétée grâce à l'identification de deux pollens de céréale (*Cerealia type*), d'un pollen de chanvre/houblon (*Cannabis sp.* / *Humulus sp.*) accompagnés de pollens de plantes adventices (*Rumex sp.*, *Centaurea sp.*) et d'un cortège de plantes rudérales (*Plantago sp.*, Chenopodiaceae, Cichorioïdeae, Apiaceae).

L'observation des pollens de céréale dans un contexte de fossé pose question car ce sont des essences qui produisent et diffusent relativement peu (Fig. 11, d'après Mazier *et al.*, 2012). La présence de ces cultures est faiblement perçue. Il pourrait aussi s'agir d'apports liés aux activités de traitement des céréales et du chanvre (ex. battage et rouissage) à l'intérieur ou à côté de l'enclos, et non à la proximité directe des cultures. Pour les céréales, l'hypothèse d'apports liés à des rejets alimentaires (excréments) n'est pas non plus à exclure au regard de la détection de quelques ascospores du groupe coprophile HdV-55 (cf. ci-après, et Fig. 9).

Quelques pollens de lysimaques (*Lysimachia sp.*) et de Cyperacées (Famille des carex) témoignent de conditions humides. On peut évoquer l'existence de prairies humides, voire de végétaux situés à l'intérieur même du fossé (inondé au moins temporairement ?).

Le nombre de spores monolètes, trilètes et de polypodes (*Polypodium sp.*) est important puisque plus de 180 grains ont été comptés. Les fréquences de ces spores (fougères et mousses) observées sont souvent aléatoires et difficilement interprétables. Ces spores pourraient provenir de mousses et de fougères situées à proximité de l'enclos, voire à l'intérieur du fossé.

Enfin, de nombreux microrestes non polliniques sont présents, notamment des « spores algales et supposées - types HdV-181 et type TM-4021 », « amérospores des types HdV-207 » (genre *Glomus*, parasite de plantes herbacées)... Ce sont pour la plupart des microrestes d'origine fongique (champignons) mais dont la signification écologique n'est que rarement établie. Notons parmi ces microrestes non polliniques, l'identification de quelques ascospores du groupe coprophile « HdV-55 Sordariales ». Ces microfossiles, témoignent de la présence de matières fécales (fumier?). Cela pourrait aussi renforcer l'image d'un environnement de prairies pâturées ou d'activités tournées vers l'élevage.

4. SYNTHÈSE

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

L'analyse complète du prélèvement n°1048 (US1010.54) permet d'obtenir des concentrations polliniques globalement satisfaisantes (environ 24000 pollens / mL) avec une diversité intéressante puisqu'une trentaine de taxons sporo-polliniques a été observée. L'analyse a permis d'obtenir un spectre pollinique plutôt bien conservé, révélant une image paléoenvironnementale crédible (faible conservation différentielle).

Les résultats d'analyse, attribués au second âge du fer (IVe s. av. J.-C.), montrent un paysage déjà très ouvert (13% de pollens d'arbres seulement), laissant percevoir des forêts de chênaies diversifiées voire chênaies-hêtraies probablement éloignées ou très dégradées (lambeaux forestiers ?). Quelques boisements humides, probablement très réduits, sont aussi identifiés.

Dans le même temps, des formations de landes sont perçues par l'intermédiaire de pollens de bruyères (Ericacées), Asteracées notamment. Elles sont généralement la conséquence d'actions directes ou indirectes de l'homme (déforestation, pâturage, écobuages...) à des fins agricoles. Ces landes sont très souvent détectées dans les paléoenvironnements protohistoriques de l'ouest de la France (Marguerie, 1992 ; Gaudin 2004). Elles seraient la conséquence d'importants défrichements et de surexploitations des sols lors de ces périodes.

Des groupements végétaux de friches et jachères et des prairies hygro- à mésophile, potentiellement pâturées, sont détectées de façon importante, avec plus de 65% de pollens de graminées (Poaceae). Ce sont ces deux formations végétales qui devaient couvrir en partie les alentours de l'enclos.

La détection du groupement des communautés rudérales (chemins, habitats, lieux de pacages) est perçue de façon plus ténue. Il témoigne néanmoins de l'occupation humaine à l'intérieur et dans les environs de l'enclos.

Les cultures ont pu être interprétées grâce à l'identification de deux pollens de céréale et un pollen de chanvre/houblon associés à quelques pollens de plantes adventices et rudérales. Notons toutefois que la nature du capteur pollinique (fossé) a très probablement influencé la composition pollinique. Il faut envisager des apports polliniques par ruissellements mais aussi par les activités humaines à proximité (ex. battage, rouissage) ou par des rejets alimentaires (dont excréments?). Plusieurs microfossiles non polliniques, dont notamment des ascospores de groupes coprophiles (HdV-55) (sept attestations), montrent l'existence de matières fécales à l'intérieur du fossé. Ces indices pourraient aussi suggérer des pratiques de l'élevage.

Identifiants prélèvements		PR1048 ; US 1010.54
Type de structure		F1010 : Fossé d'enclos A
Périodes		IV e s. av. J-C
Taux de pollen d'arbres (AP)		13,00%
Boisements	Chênaie mixte	+
	Boisements clairs, haies	
	Boisements hygrophiles (<i>Alnus sp. et Ulmus sp.</i>)	+
	Résineux	+
Végétations herbacées	Prairies hygro- à mésophiles pâturées (Poacées, Cyperacées)	+++
	Communautés rudérales, chemins, pacages, habitats...	+
	Friches et jachères (<i>Cichorioidées, Rumex sp.</i>)	+++
	Landes (<i>Ericacées</i>)	+
	Cultures (types) : pollens de céréale et chanvre/houblon	+
Zones Humides	Prairies humides, fond de fossé ? (<i>Lysimachia sp.</i>)	++
	Zones inondées peu profondes	
	Zones inondées profondes	
MNP	Ascospores gp coprophiles – HdV 55 – Sordariales	+

Figure 6. Tableau synthétisant les principales caractéristiques et principaux groupements végétaux identifiés dans le prélèvement n°1048 (US 1010.54).

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.
- CHESTER P.I. & IAN RAINE J., 2001 - Pollen and spore keys for Quaternary deposits in the northern Pindos Mountains, Grana, 40, Greece, p. 299-387.
- CUGNY C., 2011 - Apport des microfossiles non-polliniques à l'histoire du pastoralisme sur le versant nord pyrénéen. Entre référentiels actuels et reconstitution du passé. Thèse de doctorat, Université Toulouse 2 Le Mirail, 2 vol., 373 p.
- 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.
- 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, 2 tomes, 768 p.
- GAUDIN L., 2025 - Tests palynologiques de 6 prélèvements archéologiques réalisés lors de l'opération du site « Les Tonnelles » sur la commune de Bellevigny (85). Occupations protohistoriques (Second âge du fer). Opération : 2023. Avril 2025. 18p.
- LOPEZ SAEZ J.-A., LOPEZ GARCIA P. et BURJACHS F., 2003 - Arqueopalinologia : sintesis critica. *Polen* 12, p. 5-35.
- 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.
- 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>.
- MARGUERIE D., 1992 - *Évolution de la végétation sous l'impact humain en Armorique du Néolithique aux périodes historiques*. Travaux du Laboratoire d'Anthropologie de Rennes, n°40, 262 p.
- PLANCHAIS N., 1971 - *Histoire de la végétation post-würmienne des plaines du bassin de la Loire, d'après l'analyse pollinique*. Thèse d'Etat, Montpellier, 2 vol., 115 p.
- REILLE M., 1990 - Leçon de palynologie et d'analyse pollinique. CNRS, Paris, 206 pages.
- REILLE M., 1992 - *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord.*, Editions Louis-Jean, Gap, 520 p.

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.

VISSET L. 1974 – Le tumulus de Dissignac à Saint-Nazaire (Loire-Atlantique), étude palynologique. *Bulletin de la Société scientifique de Bretagne*, 48, p. 7-14.

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'Ecologie et de Phytogéographie Faculté des Sciences et des Techniques, Nantes, 178 p.

6. FIGURES

Taxons \ Code Prélèvements		PR1048 ; US 1010.54	
Pollens	Frag. Pollen résineux	3	
	Pinus	4	
	Pinus sylvestris	3	
	Abies	3	
	Quercus	25	
	Ulmus	1	
	Alnus	4	
	Proportion de pollens d'Arbres	12,70%	
	POACEAE	221	
	CICHORIOIDEAE	36	
	ASTERACEAE	3	
	CARYOPHYLACEAE	1	
	CHENOPODIACEAE	3	
	BRASSICACEAE	11	
	Plantago	2	
	ERICACEAE	2	
	Cerealia type	2	
	Cannabis / Humulus	1	
	Rumex	1	
	Centaurea type nigra	1	
	RANUNCULACEAE	1	
	APIACEAE	1	
	Lysimachia	4	
	CYPERACEAE	6	
	Spores	Spore monolète	65
		Polypodium	116
		Spore trilète	1
Non pollinique	Concentricyste	1	
	Phytolithes	5	
	Ascospores gp coprophiles – HdV-55 – Sordariales	7	
	Amérospores – HdV-207	10	
	Spores algales et supposées – TM-4021	1	
	Spores algales et supposées – HdV-181	1	
	Micro-charbons	52	
	Indéterminés	6	
	SOM. pollen (somme de base)	339	
	SOM. Sporo-pollinique	521	
CONC. ABS Pollen (nb / cm3)	23991		
CONC. ABS Pollen et Spores (nb / cm3)	36871		

Figure 7. Opération archéologique du site « Les Tonnelles » sur la commune de Bellevigny (85). Spectre pollinique du prélèvement n°1048. 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 mL de sédiment.

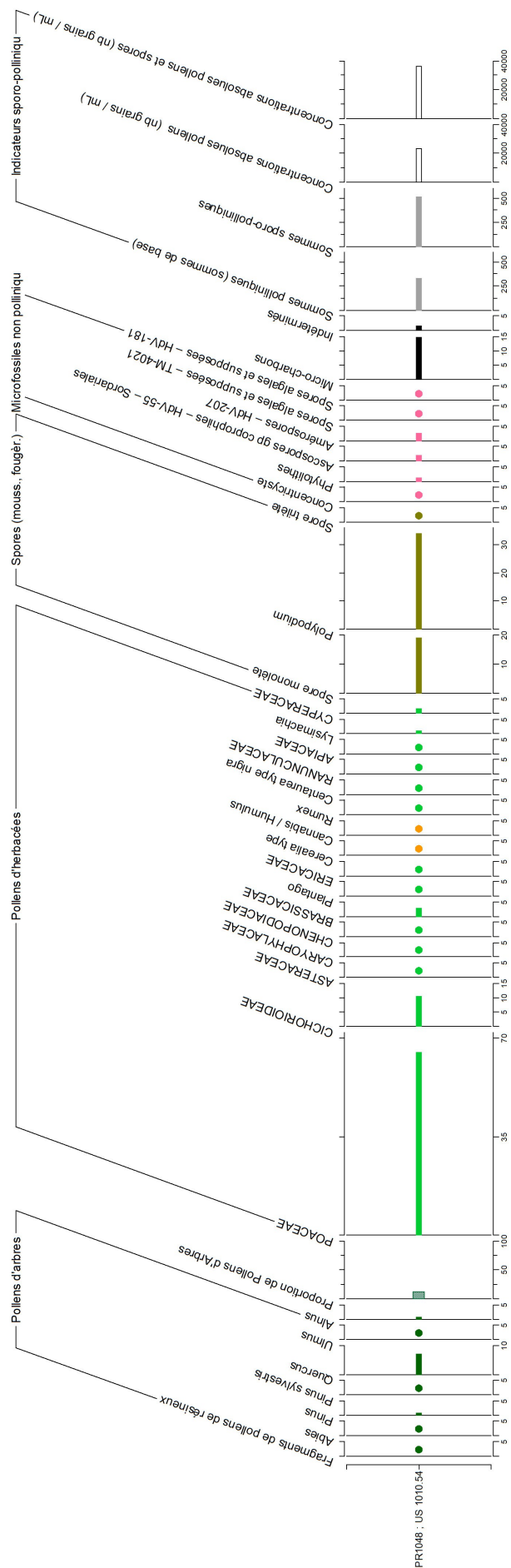


Figure 8. Diagramme sporo-pollinique de l'opération du site « Les Tonnelles » sur la commune de Bellevigny (85). Les valeurs sont exprimées en fréquences relatives (%). La somme de base utilisée pour calculer les fréquences correspond à la somme des grains de pollens. Les spores ont donc été exclus de cette somme de base. La courbe (PA/PNA) correspond au rapport entre pollens d'arbres (PA)/ pollens non arborescents (PNA). Les valeurs inférieures à 1% sont symbolisées par des points. Les concentrations absolues sont exprimées en nombre de grains / mL de sédiment.

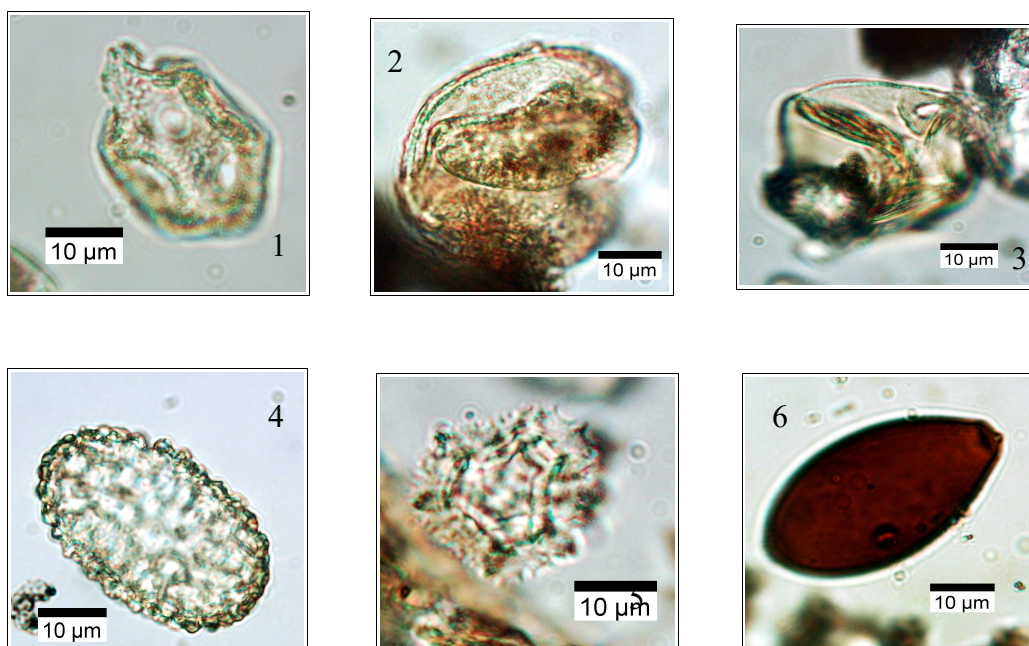


Figure 9. Photographies de pollens sous microscope optique à immersion, grossissement x1000. Les échelles représentent des micromètres. 1. Pollen de Caryophyllacée (Plv 1048) ; 2. Pollen de pin (*Pinus type sylvestris*) (Plv 1048) ; 3. Pollen de céréale (*Cerealia type*), (Plv 1048) ; 4. Spore de Polypodiacee (Plv 2044); 5. Pollen de Cichorioïdées (Plv 1048) ; 6. Ascospores gp coprophile Hdv-55 Sordariales indiff., (Plv 2042);

Code des prélèvements	Nombre de pollens comptés	Nombre de spores comptés	de et Lycopodes introduits comptés	Concentration absolue pollen et spores	Concentration absolue pollen uniquement	Etat de conservation	Diversité taxonomique
PR1048 ; US 1010.54	339	521	54	36871	23991	Bon	26

Figure 10. Opération archéologique du site « Les Tonnelles » sur la commune de Bellevigny (85). Analyse complète sur quatre prélèvements retenus : nombre de pollens et de spores comptés, nombre de grains par mL sédiment, diversité taxonomique.

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 11. 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).

Taxons \ Code Prélèvements	PR1048 ; US 1010.54	PR1049 ; US 1010.55	PR2044 ; US 1542.7	PR2046 ; US 1542.10	PR2042 ; US 1542.14	PR2040 ; US 1542.15
Pinus	1	1	0	0	0	0
Pinus sylvestris	2	0	0	0	2	0
Quercus	2	0	0	0	0	0
Corylus	0	0	1	0	0	0
Lonicera	1	0	0	0	0	0
Proportion Pollens d'Arbres	16,66	100	25	0	16,66	0
POACEAE	23	0	1	0	7	0
CICHORIOIDEAE	3	0	0	0	2	0
ASTERACEAE	0	0	1	0	0	0
BRASSICACEAE	2	0	0	0	0	0
Calluna	0	0	0	0	1	0
Cerealia type	0	0	1	0	0	0
Centaurea type nigra	1	0	0	0	0	0
CYPERACEAE	1	0	0	0	0	0
Spores						
Spore monolète	11	3	2	4	12	0
Polypodium	17	104	55	49	41	55
Spore trilète	0	0	1	0	0	0
Non pollinique						
Concentricyste	0	0	1	0	0	0
Phytolithes	0	0	0	4	3	0
Ascospores gp coprophiles – HdV-55 – Sordariales	1	0	0	0	3	0
Amérospores – HdV-207	1	0	0	0	0	0
Spores algales et supposées – TM-4021	1	1	0	0	0	0
Spores algales et supposées – HdV-181	1	0	0	0	0	0
Micro-charbons	0	0	4	25	54	0
Indéterminés	3	0	0	0	0	0
SOM. pollen (somme de base)	36	1	4	0	12	0
SOM. Sporo-pollinique	64	108	62	53	65	55
CONC. ABS Pollen (nb / cm3)	17197	294	336	0	1239	0
CONC. ABS Pollen et Spores (nb / cm3)	30572	31748	5201	8102	6714	6102

Figure 12. Opération archéologique du site « Les Tonnelles » sur la commune de Bellevigny (85). Résultats des tests palynologiques. Comptages des pollens et spores déterminés (extrait de Gaudin, 2025)

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 glycérinée

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

SERIE N°	Date	Sol Exotique (lycopodes...)	Nombre grains	Num (1-8)	NOM DE LA CAROTTE	TRONCON	VOL	Poids sec
2897	13/01/2024	lycopodes	17197	H	BELLEVIGNY F1010	SD 1036 PR 1048	4,5	9,859
2898	13/01/2024	lycopodes	17197	A	BELLEVIGNY F1010	SD 1036 PR 1049	4,5	9,9
2898	13/01/2024	lycopodes	17197	B	BELLEVIGNY F1542	SD 2039 PR 2044	5	9,904
2898	13/01/2024	lycopodes	17197	C	BELLEVIGNY F1542	SD 2039 PR2046	4,5	9,873
2898	13/01/2024	lycopodes	17197	D	BELLEVIGNY F1542	SD 2039 PR2042	4,5	9,673
2898	13/01/2024	lycopodes	17197	E	BELLEVIGNY F1542	SD 2039 PR2040	5	10,259

Figure 13. Description des traitements réalisés pour l'extraction pollinique (UMR EPOC).