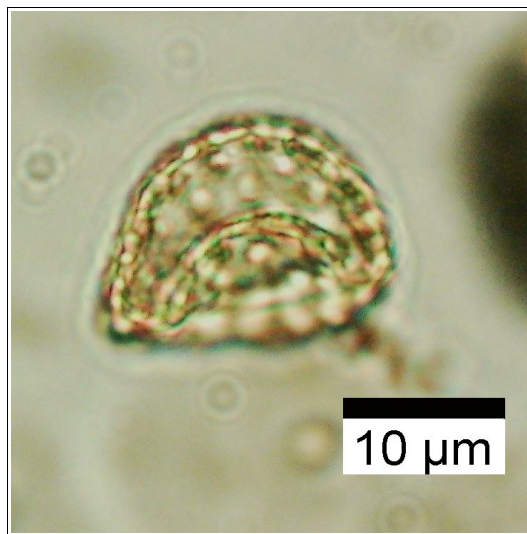




ArkéoMap

ANALYSES SCIENTIFIQUES DES DÉCOUVERTES ARCHÉOLOGIQUES : ANALYSES PALYNOLOGIQUES



**ANALYSES PALYNOLOGIQUES DE DEUX ÉCHANTILLONS PRÉLEVÉS
EN STRATIGRAPHIE À L'INTÉRIEUR DES COMBLEMENTS
INFÉRIEURS DE Puits PROTOHISTORIQUES LORS DE
L'OPÉRATION DU SITE DE GERZAT « COURLANDE », PUY-DE-
DÔME (63).**

OCCUPATIONS PROTOHISTORIQUES

OPÉRATION : OA 039307

Sarl Paléotime

Rapport d'analyses palynologiques

Janvier 2025

Sarl PALEOTIME
75 avenue Jean-Séraphin Achard-Picard
38250 Villard-de-Lans

Opération archéologique du site de Gerzat « Courlande », Puy-de-Dôme (63).

Références des échantillons étudiés :

US des quatre prélèvements testés et provenant des comblements :
PR 1568.1, PR 1317, PR 1602.1, PR 1602.2

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

Janvier 2025

*Illustration de la page de couverture : Pollen de Chenopodiacee. Grossissement x1000.
L'échelle représente des micromètres. Prélèvement n°1317.*

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.....	15
6. FIGURES.....	16
7. ANNEXE.....	20
7.1. Détail du protocole d'extraction utilisé :.....	20
7.2. Description des échantillons et des traitements	23

INTRODUCTION

Ce document présente les résultats d'analyses palynologiques de deux prélèvements réalisés lors de l'opération archéologique de Gerzat « Courlande » dans le Puy-de-Dôme (63).

La fouille concerne un habitat protohistorique avec deux phases d'occupations : Bronze ancien et Bronze final.

Les échantillons étudiés ont été prélevés directement en stratigraphie à l'intérieur des comblements inférieurs de puits protohistoriques.

Ces analyses font suite à la réalisation de tests visant à mesurer la conservation pollinique à l'intérieur de quatre échantillons. Ces premiers résultats montrèrent des conservations hétérogènes. Deux des quatre prélèvements ont montré des conservations polliniques minimum (en terme de qualité et de quantité de pollens) pour mener des analyses complémentaires (Gaudin, 2024). Nous avons donc poussé l'étude de manière à obtenir un « diagramme pollinique » sur la base de ces deux prélèvements.

Cette opération a été menée par la société Paléotime. L'étude a été commandée Madame Lucie Da Cruz, responsable de l'opération.

1. PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS, STRATIGRAPHIE et OBJECTIFS

Les quatre prélèvements proviennent du comblement de puits protohistoriques. Ils ont été directement réalisés en stratigraphie (Fig. 1 et 5).

INVENTAIRE PALYNOLOGIQUE	
Commune :	Gerzat, Puy-de-Dôme (63)
Nom de l'opération / Lieu-Dit :	Courlandes
Année :	2023
N° OA :	OA 039307
Resp. d'Op. ; commanditaire	Lucie DA CRUZ
Type d'opération :	Préventif
Période d'analyse pressentie	fin octobre 2024

N° de prélèvement	Faits et US	Masse envoyée (g)	Description sédimentaire	Retenus après tests	
PRL 1568.1	F1031 - US 1568 - PT 2487	35	Organique ? Couleur noirâtre. Limoneux	Pas de date C14. Associé au Bronze ancien sur la base des logiques spatiales	Oui
PRL 1317	F1032 - US1317 - PT 2197	36	Organique ? Couleur noirâtre. Limoneux	Une date sur le niveau sous-jacent (US1559) : CIRAM-9690 : 2708±30 : 911(95,4%) 806 ; Bronze final IIIb NB: l'étude céramique montre que la typochronologie du mobilier est homogène pour l'ensemble des niveaux de remplissage et assied une attribution au Bronze final IIIb .	Oui
PRL 1602.1	F1026 - PT 2481	34	Organique ? Couleur noirâtre. Limoneux - cailloux	Idem que PRL 1602.2 (il y a eu deux prélèvements palyno dans l'US1602, dont l'un a fait l'objet d'un numéro d'isolat et d'un enregistrement en 3D = PT2481)	non
PRL 1602.2	F1026 - US 1602 -	34	Organique ? Couleur noirâtre. Limoneux	Une date sur le même niveau (US1602) : CIRAM-9689 : 3442±30 : 2135(95,4%) 1923 ; Bronze A1	non

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

Les contextes de puits sont potentiellement favorables à la conservation pollinique, car les conditions y sont généralement humides et plus anaérobies qu'en contexte de plein air. La couleur « noirâtre » des couches des comblements est d'ailleurs plutôt caractéristique de concentrations organiques, indice à priori plutôt favorable à la conservation pollinique.

Toutefois, il est probable que les niveaux étudiés aient été soumis à des phénomènes de battements de nappe, ne permettant pas de garantir un contexte de préservation optimal (la permanence de conditions anaérobies a pu être rompue). Ces conditions ont probablement permis des phénomènes de biodégradation (respiration microbienne) plus ou moins importants en fonction des couches sédimentaires.

Seuls des tests pouvaient permettre de juger véritablement du potentiel palyнологique des prélèvements (Fig. 2) (Gaudin, 2024).

Code des prélèvements	Nombre de pollens comptés	Nombre de spores comptés	de Lycopodes introduits comptés	Concentration absolue pollen spores	Concentration absolue pollen uniquement	Etat de conservation	Diversité taxonomique	Remarque	Indice de potentiel d'étude
PRL 1568.1	36	53	140	2170	1474	Mauvais	11	Absence de pollens de céréales	4
PRL 1317	93	123	86	9838	7439	Moyen	11		3 à 4
PRL 1602.1	31	47	125	1847	1219	Mauvais	8		5
PRL 1602.2	14	21	164	1101	734	Très mauvais	5		5

Figure 2. Opération archéologique du site de « Courlande » sur la commune de Gerzat (63). 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, 2024). 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).

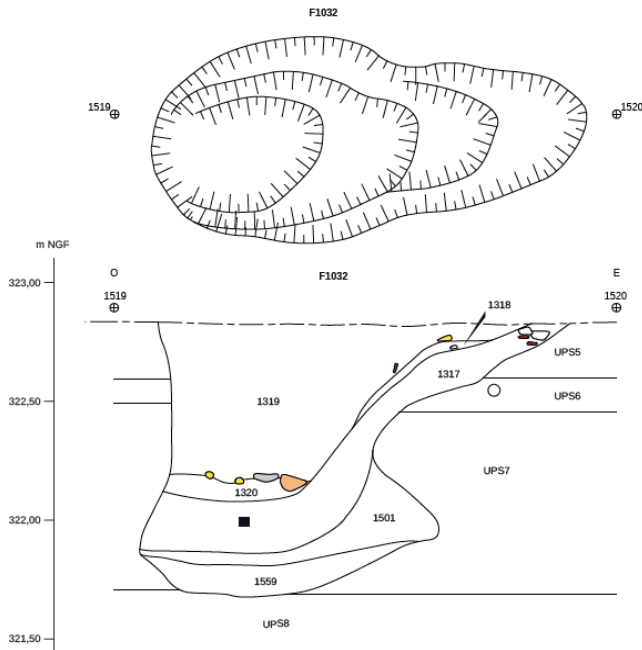


Figure 3. Relevé stratigraphique du comblement du puits F1032 avec positionnement du prélèvement palynologique (carré noir) dans l'US 1317.

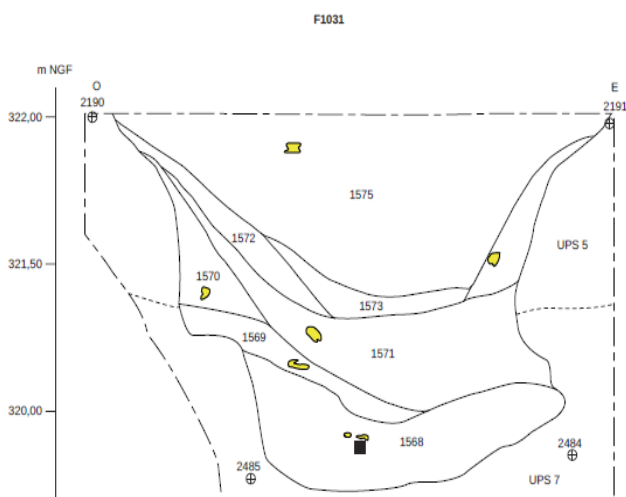


Figure 4. Relevé stratigraphique du comblement du puits F1031 avec positionnement du prélèvement palynologique (carré noir) dans l'US 1568.



Figure 5. Photographie des quatre prélèvements envoyés pour extractions.

Les tests révélèrent des conservations polliniques hétérogènes (Fig. 2).

En effet, deux prélèvements montrèrent des concentrations polliniques « très mauvaises » de l'ordre de 1000 pollens / mL et avec très peu de diversité (prélèvements 1602.1 et 1602.2). Un prélèvement montra une conservation polliniques assez mauvaise (environ 1400 pollens / mL) mais avec une diversité laissant envisager une potentialité d'étude complémentaire (prélèvement n°1568). Enfin, l'analyse du prélèvement n°1317 révéla une concentration pollinique « moyenne » avec environ 7500 pollens / mL ainsi qu'une diversité de onze taxons.

Compte tenu de ces premiers résultats, en concertation avec les archéologues, nous avons retenu l'échantillon n° 1568 en plus de l'échantillon de concentration « moyenne » (prélèvement n°1317) pour des analyses complémentaires. Pour ces deux prélèvements, les analyses complémentaires avaient surtout pour objectif de consolider l'image « qualitative » des compositions polliniques car les résultats obtenus sont soumis à d'importantes conservations différentielles. En effet, les pollens les plus résistants (les pollens de résineux et de Cichorioïdées notamment), sont apparus sur-représentés dans les deux échantillons (Gaudin, 2024).

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 OLYMPUX CX21 et CX40).



Figure 6. 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. 8).

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 identifiés (Figures 8 et 9).

3.1. Analyse critique des résultats

Les analyses complémentaires des deux échantillons n'ont pas permis d'enrichir beaucoup les compositions polliniques. Les résultats restent assez lacunaires, notamment pour le prélèvement n°1568.1. Des phases « aérobies » ont probablement entraîné la biodégradation des pollens les plus fragiles. Ces compositions polliniques sont affectées par des conservations différentielles, notamment des pollens de Cichorioïdées, de résineux et spores monolètes (Fig. 8).

Un peu plus de 300 grains de pollens et de spores ont été observés pour le prélèvement n°1317 et un peu plus de 150 pour le prélèvement n°1568.1.

La concentration de pollens constatée pour l'échantillon n°1317 est de l'ordre de 5000 pollens / mL et seulement de 1000 pollens / mL pour l'échantillon n°1568.1. Ces concentrations peuvent être considérées comme faibles voire très faibles en comparaison avec les concentrations obtenues dans des dépôts organiques (ex. tourbières), souvent de l'ordre de 50000 pollens / mL.

En ce qui concerne la qualité des compositions polliniques, les diversités constatées restent faibles. 14 taxons sporo-polliniques ont été comptés pour le prélèvement n°1568.1, 16 taxons pour le prélèvement n°1317 et ce malgré les observations complémentaires (Fig. 8 et 11).

Là aussi ces résultats restent bien inférieurs aux diversités obtenues en contextes anaérobies naturels (ex. zones humides avec souvent plus de 50 types polliniques).

Il faut donc interpréter les compositions polliniques avec précaution. Les valeurs quantitatives (fréquences relatives) notamment ne peuvent être considérées comme fiables. Nous nous baserons davantage sur les associations polliniques observées pour interpréter les résultats de ces deux prélèvements.

La détection très importante des spores de Lycopodes introduits dans les volumes extraits (618 et 308 Lycopodes comptés pour les échantillons, Fig. 11), témoigne de la réussite du traitement physico-chimique d'extraction du matériel sporo-pollinique.

La sur-représentation des pollens de Cichorioïdées et de spores monolètes, taxons particulièrement résistants s'explique probablement par le contexte sédimentaire. Il est possible que les comblements du puits se soient retrouvés régulièrement en contextes « aérobies » propices à l'oxydation biologique ou physico-chimique des pollens les moins résistants. En effet, le contexte plutôt « limoneux » du comblement n'est pas très favorable au maintien de conditions anaérobies en période sèche. La conservation pollinique assez moyenne constatée est une conséquence de ces conditions, mais peut-être aussi à des dynamiques de comblement assez rapides, ne permettant pas un temps de contact suffisant pour accumuler beaucoup de pollens.

Enfin, il est probable que l'image paléoenvironnementale soit déformée à cause de la nature des sédiments analysés et du mode de dépôt à l'intérieur des puits. En effet, contrairement aux analyses polliniques réalisées dans des contextes de dépôts sédimentaires « naturels et ouverts », où la pluie pollinique a pour principale origine des apports aériens (apports polliniques régionaux), dans notre cas les comblements sont vraisemblablement fortement associés aux ruissellements et infiltrations depuis les environs immédiats (apports polliniques plutôt locaux). Ce sont donc plutôt des cortèges polliniques locaux ou liés aux activités humaines autour des puits qui sont pressentis.

3.2. Interprétation des résultats

Les résultats d'analyse montrèrent des associations végétales perçues à la fois dans les deux prélèvements et ce malgré une composition pollinique un peu plus lacunaire pour le prélèvement n°1568 (Fig. 7).

Les spectres polliniques sont apparus dominés par les pollens d'herbacées pour le prélèvement n°1317 et plutôt dominés par les pollens d'arbres pour le prélèvement n°1568.1. (environ 30% de pollen d'arbres pour le prélèvement n°1317 et 60% pour le prélèvement n°1568, Fig. 7). En réalité, ces différences sont surtout liées à la forte proportion de pollens de Cichorioïdées observée dans le prélèvement n°1317 (105 pollens, Fig. 8). Ces pollens de Cichorioïdées, particulièrement résistants, influent fortement sur l'ensemble des fréquences polliniques. De fait, il est très délicat, voire impossible d'interpréter les résultats en termes quantitatifs et d'évolution paysagère. C'est notamment le cas de la forte « baisse » (?) du taux de pollen d'arbres constatée entre les prélèvements n°1568 (Bronze ancien) et n°1317 (Bronze final), baisse qu'il serait pourtant tentant d'attribuer à l'ouverture du paysage...

Les boisements perçus sont essentiellement composés de résineux, notamment des pins (*Pinus sp.*) dont des pins de type sylvestre (*Pinus sylvestris*). Les pollens de résineux sont connus pour leurs fortes productions et importantes diffusions polliniques (Fig. 12). Ces pollens sont donc probablement pour une partie d'origine lointaine, mais **des boisements de résineux locaux** ne sont pas à exclure.

Plus ponctuellement, quelques pollens de chêne et de noisetier sont aussi détectés dans les deux prélèvements. Ils pourraient correspondre à la **chênaie mixte**. Au regard des quelques occurrences polliniques observées, ces boisements forestiers sont éloignés ou très clairsemés, voire présents sous forme de haies.

L'aulne (*Alnus sp.*), détecté par l'intermédiaire d'un pollen dans le prélèvement n°1568, accompagné du noisetier (*Corylus avellana*) témoignent de **boisements hygrophiles**, peut-être depuis une zone alluviale ou des bords d'une zone humide. Les pollens de noisetier (*Corylus avellana*), essence ubiquiste, pourraient provenir de ce même type de boisement hygrophile mais aussi de **boisements clairs**, peut-être d'espaces en déprise agricole ou de haies.

En ce qui concerne les végétations herbacées, les communautés végétales sont principalement représentées par des pollens de graminées (Poacées) (5 à 10%), de Cichorioïdées (30 à 45%) et des spores monolètes.

Malgré la faible diversité des pollens observés, on peut interpréter l'existence de **groupements de friches et de jachères** (Poaceae, Asteraceae dont Cichorioideae, Chenopodiaceae, *Artemisia sp.*, *Rumex sp.*), **les groupements de communautés rudérales, de lieux de pacage, de chemins** (*Plantago sp.*, Chenopodiaceae, Asteraceae, Poaceae, *Artemisia sp.*) et de **prairies hygro- à mésophiles pâturées** (Poaceae, Cyperaceae, Asteraceae, *Centaurea type nigra*, *Plantago sp.*).

L'association végétale des cultures n'est pas directement identifiée (aucun pollen de céréale n'a été observé). Toutefois, l'observation d'un pollen de *Rumex sp.* (oseille) dans le prélèvement n°1568, plante adventice, suggère la proximité de cultures.

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

Quelques microrestes non polliniques sont présents, notamment des « Amérospores des types HdV-207 » (genre *Glomus*, parasite de plantes herbacées), des « Amérospores – TM-505 », des « Didyoascospores – HdV-18 », des « Dictyospores TM-4093 ». Ce sont pour la plupart des microrestes d'origine fongique (champignons) mais dont la signification écologique n'est pas toujours très claire.

Enfin, quelques concentricystes (Fig. 10) et spores algales et supposées (HdV-181) témoignent de conditions humides, probablement à l'intérieur même des puits.

4. SYNTHÈSE

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

L'analyse complète des deux prélèvements provenant des niveaux de comblements inférieurs de deux puits (F1031, Fig. 4 et F1032, Fig. 3) permet d'obtenir des concentrations polliniques assez moyennes voire faibles (5000 à et 1000 grains de pollens / mL). Les diversités obtenues sont correctes sans plus (16 et 14 taxons sporo-polliniques) (Figures 8, 9 et 11). Pour ces deux prélèvements, les compositions polliniques ont été soumises à des conservations différentielles importantes. Les pollens de Cichorioïdées, de résineux et spores monolètes, taxons particulièrement résistants, apparaissent sur-représentés, déformant ainsi l'image paléoenvironnementale. Ces conservations différentielles, en particulier de Cichorioïdées, rendent très délicat l'interprétation des résultats en termes quantitatifs. La comparaison des taux de pollens d'arbres ne peut être directement interprétée en terme d'ouverture du paysage.

Malgré ces compositions polliniques lacunaires, ce sont des mosaïques paysagères mêlant boisements et espaces ouverts qui sont perçus. Des groupements végétaux de prairies, friches et jachères, communautés rudérales, mais aussi boisements de résineux, chênaies clairsemées (haies?) sont détectés à la fois dans les deux prélèvements. Les boisements humides sont identifiés uniquement dans le prélèvement n°1568 par l'intermédiaire d'un pollen d'aulne (Fig. 7). Les cultures ne sont pas directement perçues, aucun pollen de céréale n'a été détecté. Notons néanmoins qu'un pollen de plante adventice (oseille) a été observé dans le prélèvement n°1568 ce qui pourrait témoigner de la proximité de cultures.

Identifiants des prélèvements		PR 1568.1 (F1031)	PR 1317 (F1032)
Type de structure		Puits	Puits
Périodes		Bronze ancien	Bronze final IIIb
Taux de pollens d'arbres (AP) (sous influence des tx de Cichorioïdées)		60,00%	29,00%
Boisements	Résineux (pins)	+++	++
	Chênaie mixte	+	+
	Boisements clairs, haies	+	+
	Boisements hygrophiles	+	
Végétations herbacées	Prairies hygro- à mésophiles pâturées	+	+
	Communautés rudérales, chemins, pacages, habitats...		+
	Friches et jachères	++	+++
	Cultures (types)		
Adventice	<i>Rumex sp.</i>	+	

Figure 7. Tableau synthétisant les principales caractéristiques et principaux groupements végétaux identifiés dans les deux prélèvements.

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, 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., 2024 – Tests palynologiques de quatre prélèvements réalisés dans les comblements inférieurs de trois puits lors de l'opération du site de Gerzat « Courlande », Puy-de-Dôme (63). Occupations protohistoriques. Opération : OA 039307. 18p. (Destinataire privé : Sarl Paleotime, RO. Mme. L. Da Cruz).
- 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.
- 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		PRL 1568.1	PRL 1317
Pollens	Frag. pollen résineux	58	61
	Pinus	3	6
	Pinus sylvestris	2	0
	Quercus	1	1
	Corylus	1	1
	Alnus	1	0
	POACEAE	8	28
	CICHORIOIDEAE	32	105
	ASTERACEAE	0	3
	Artemisia	0	1
	CHENOPODIACEAE	0	15
	Plantago	0	2
	Rumex	1	0
	Centaurea	0	6
	Centaurea type nigra	1	8
	Centaurea type jacea	0	1
	CYPERACEAE	1	1
	Spores	Spore monolète	45
Polypodium		1	0
Spore trilète		1	1
Non polliniques	Concentricyste	1	20
	Amérospores – TM-505	0	1
	Amérospores – HdV-207	7	33
	Didymoascospores - HdV-18	2	0
	Dictyospores – TM-4093	4	0
	Spores algales et supposées – HdV-181	1	1
	Micro-charbons	55	433
	SOM. pollen (somme de base)	109	239
SOM. Sporo-pollinique	156	316	
CONC. ABS Pollen (nb / cm3)	1011	5338	
CONC. ABS Pollen et Spores (nb / cm3)	1447	7057	

Figure 8. Opération archéologique du site de « Courlande » sur la commune de Gerzat (63). 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.

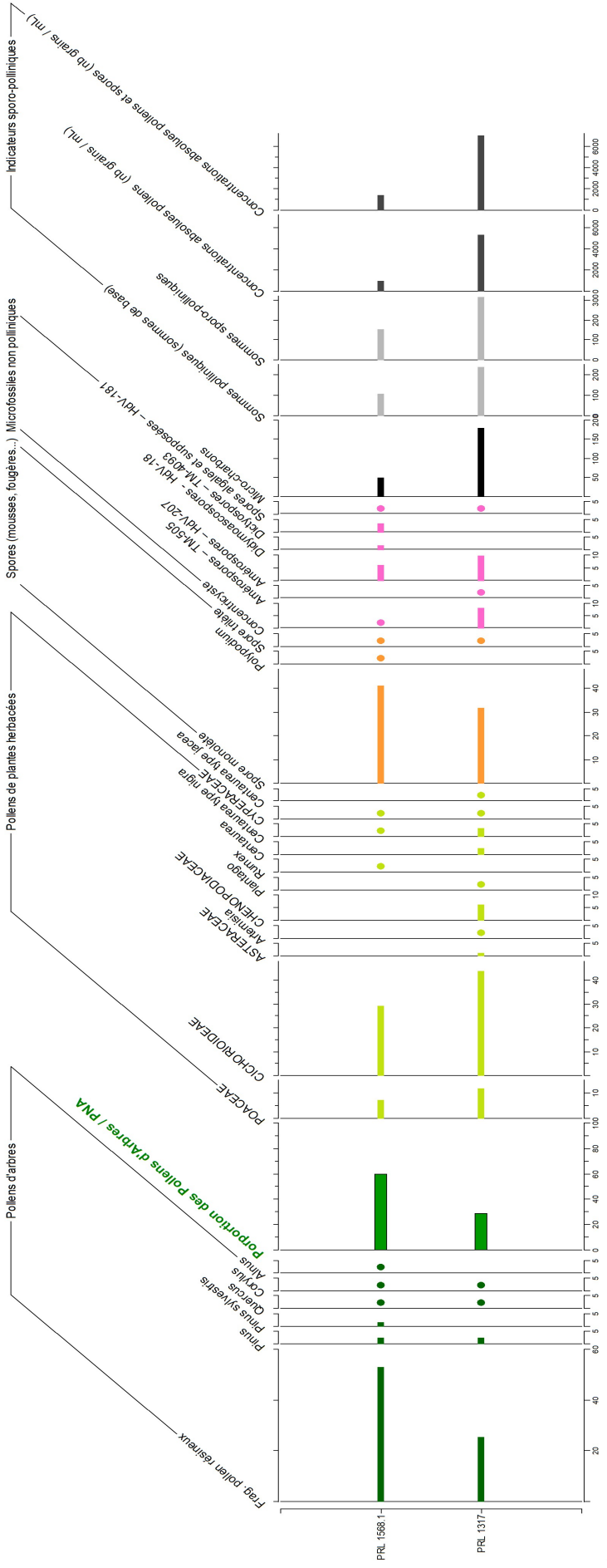


Figure 9. Diagramme sporo-pollinique de l'opération archéologique du site de « Courlande » sur la commune de Gerzat (63). Les valeurs sont exprimées en fréquences relatives (%). La somme de base utilisée pour calculer les fréquences correspond à la somme des grains de pollens. Les spores ont donc été 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.

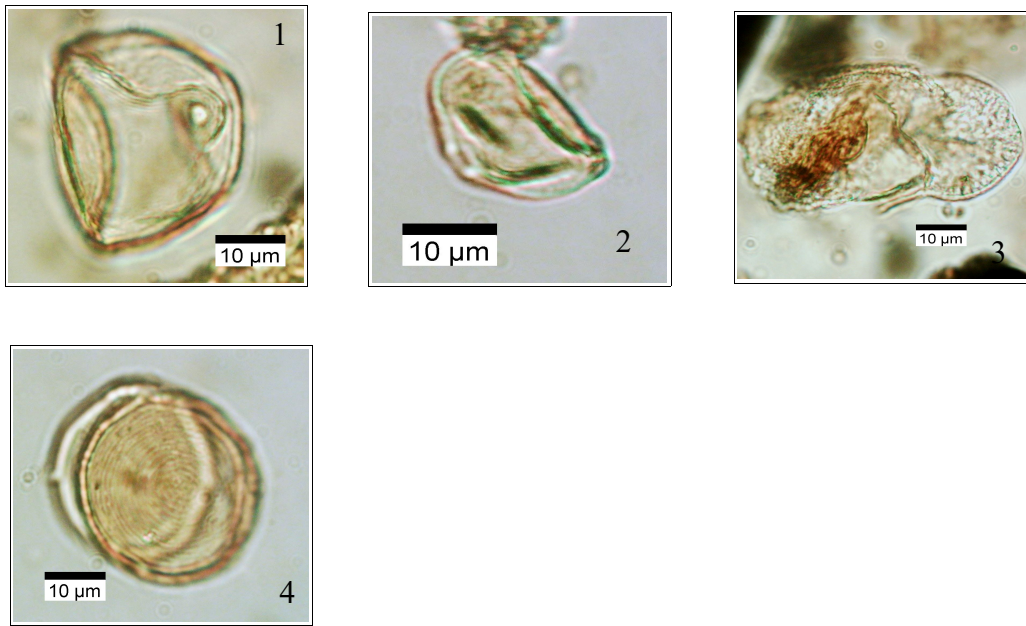


Figure 10. Photographies de pollens sous microscope optique à immersion, grossissement x1000. Les échelles représentent des micromètres. 1. Pollen de Poacée (Piv 1317) ; 2. Pollen de noisetier (*Corylus avellana*) (Piv 1317) ; 3. Pollen de résineux – type pin (*Pinus type*), (Piv 1317) ; 4. Concentricyste (Piv 1317)

Code des prélèvements	Nombre de pollens comptés	Nombre de spores et de Lycopodes comptés	Concentration absolue pollen et spores	Concentration absolue pollen uniquement	Etat de conservation	Diversité taxonomique	Remarque
PRL 1568.1	109	156	1447	1011	Mauvais	14	Rumex sp.
PRL 1317	239	316	7057	5338	Moyen	16	Artemisia sp.

Figure 11. Nombre de pollens et de spores comptés, nombre de grains par mL sédiment, diversité taxonomique.

Taxons \ Code Prélèvements		PRL 1568.1 ; F1031 – US 1568 – PT 2487	PRL 1317 ; F1032 – US1317 – PT 2197	PRL 1602.1 ; F1026 – PT 2481	PRL 1602.2 ; F1026 – US 1602
Pollens	Frag. Résineux	19	25	21	8
	Pinus	1	4	4	3
	Pinus sylvestris	2	0	0	0
	Quercus	1	1	1	0
	Corylus	1	0	1	0
	Alnus	1	0	0	0
	POACEAE	3	12	1	1
	CICHORIOIDEAE	7	40	2	2
	CHENOPODIACEAE	0	4	0	0
	Plantago	0	1	1	0
	Rumex	1	0	0	0
	Centaurea type nigra	0	5	0	0
	Centaurea type jacea	0	1	0	0
Spores	Spore monolète	16	29	16	7
	Polypodium	1	0	0	0
	Spore trilète	0	1	0	0
Micro-fossiles non polliniques	Concentricyste	1	4	0	0
	Amérospores – HdV-207	5	14	2	0
	Didymoascospores - HdV-18	1	0	0	0
	Dictyospores – TM-4093	2	0	1	0
	Spores algales et supposées – HdV-181	0	1	0	0
	Micro-charbons	19	226	10	14
	Indéterminés	0	0	1	0
	SOM. pollen (somme de base)	36	93	31	14
	SOM. Sporo-pollinique	53	123	47	21
	CONC. ABS Pollen (nb / cm3)	1474	7439	1219	734
CONC. ABS Pollen et Spores (nb / cm3)	2170	9838	1847	1101	

Figure 12. Opération archéologique du site de « Courlande » sur la commune de Gerzat (63). Résultats des tests palynologiques. Comptages des pollens et spores déterminés (extrait de Gaudin, 2024)

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 glycélinée

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	Coul (N,B,R,V)	Sol Exotique (lycopodes..)	Nombre grains	Num (1-8)	NOM DE LA CAROTTE	TRONCON	VOL	Poids sec
2785	20/05/2024	N	lycopodes	17197	A2	GERZAT	PRL 1568	3	6,17
2785	20/05/2024	N	lycopodes	17197	A3	GERZAT	PRL 1602.2	2	3,95
2785	20/05/2024	N	lycopodes	17197	A4	GERZAT	PRL 1317	2,5	4,56
2785	20/05/2024	N	lycopodes	17197	A5	GERZAT	PRL 1602.1	3,5	6,89

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