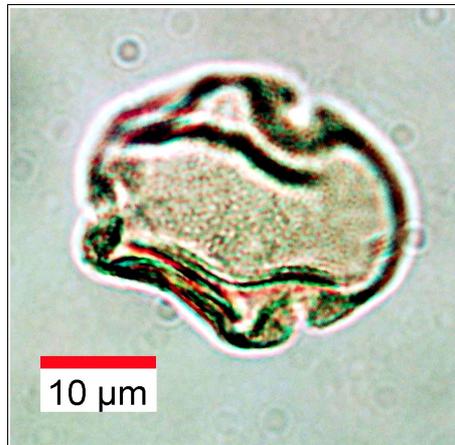




ArkéoMap

ANALYSES SCIENTIFIQUES DES DÉCOUVERTES ARCHÉOLOGIQUES : ÉTUDES PALYNOLOGIQUES



ANALYSES PALYNOLOGIQUES DE PRÉLÈVEMENTS RÉALISÉS EN STRATIGRAPHIE LORS DE L'OPÉRATION DU « PRUTOT » SUR LA COMMUNE DE NORT-SUR-ERDRE (44).

OPÉRATION : OA186489

**Pôle archéologique
Département de Loire-Atlantique – Direction Culture –
Grand Patrimoine de Loire-Atlantique**

Rapport d'étude palynologique

Avril 2021

**Département de Loire-Atlantique – Direction Culture –
Grand Patrimoine de Loire-Atlantique**

**Analyses palynologiques de prélèvements réalisés en stratigraphie
lors de l'opération du « Prutot » sur la commune de Nort-sur-
Erdre (44).**

Opération : OA186489

Références des échantillons étudiés :

Prélèvements provenant des structures et US indiquées :

PT 1381, PLV 40 - US 1393 et

PT 1381, PLV 39 - US 1382

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 2021

*Illustration de la page de couverture : Pollen de tilleul (Tilia sp.), échantillon n°39,
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

Ce document présente les résultats d'analyses palynologiques de deux prélèvements de l'opération archéologique du Prutot (OA n°186489), sur la commune de Nort-sur-Erdre (44). Les deux prélèvements étudiés proviennent du comblement inférieur d'un « puisard » (PT 1381) attribué par datation radiocarbone au Bronze final.

Ce rapport fait suite à une pré-étude qui visait à estimer le contenu palynologique des deux échantillons. Les résultats des tests étant prometteurs, l'analyse plus approfondie des deux prélèvements a été retenue.

L'objectif de cette étude vise à obtenir une description du paysage végétal durant le Bronze final (période de transition entre les périodes climatiques de la fin du Subboréal et du début du Subatlantique), mais peut-être aussi apporter des éléments d'interprétation de cette structure en creux.

L'étude a été commandée par M. Yacger, archéologue du pôle archéologique départemental, avec l'accord de Mme Mavéraud-Tardiveau, directrice du pôle archéologique.

1. PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS, STRATIGRAPHIE et OBJECTIFS

Le site du « Prutot » correspond à une occupation antique, probablement du Haut-Empire.

Le creusement du « puisard PT1381 » est antérieur, car une datation réalisée sur un élément de bois (couche US 1393, prélèvement n° PV40) permet d'attribuer le comblement au Bronze final (Fig. 1).

Code Laboratoire	Numéro de structure et d'US	Type de sédiment	Age (B.P.)	Age calibré <small>(à partir de des données atmosphériques de Reimer et al., 2020) ; OxCal v4.4.2 Bronk Ramsey (2020) ; avec une probabilité de 95,4%</small>
CIRAM SAS - AT62 - Bois	PT1381 - US1393	Sédiment hydromorphe, fraction de cellulose, résidus alcalins	3034 ± 26	1396 cal. BC (31,4%) 1332 cal. BC 1326 cal. BC (64%) 1212 cal. BC

Figure 1. Résultats de la datation radiocarbone réalisée sur le prélèvement n°40 (US 1393).

Selon M. Yacger, « la fonction de la structure reste imprécise. Elle est interprétée comme étant un puisard du fait de sa morphologie et de son emplacement dans une zone basse et humide du secteur ». L'analyse du comblement « montre que la structure n'a pas connu de circulation d'eau, mais un colmatage avec des matériaux fins et qui ont piégés de la matière organique ». Le comblement inférieur est apparu « hétérogène et compact ». Il a donné lieu à deux prélèvements :

- Le prélèvement n° 39 (1 seau) est composé d'un sable (moyen à grossier) gris, parfois du substrat remanié, avec des poches argileuses gris bleu (milieu réducteur gorgé d'eau).

- Le prélèvement n°40 (1 boîte) est composé d'un sable (fin à moyen) limoneux gris bleu, avec de nombreux restes végétaux décomposés, concentrés vers le fond en poches pulvérulentes marron.

La présence des restes végétaux constituait un indicateur favorable à la conservation des pollens, ce qui a été confirmé par les tests. De façon générale, le comblement de la structure a probablement fourni des conditions anaérobies (réductrices) permanentes rendant la conservation des pollens possible. La couleur grise des sédiments appuie d'ailleurs cette hypothèse.

Les prélèvements ont été réalisés directement en stratigraphie par US (Fig. 2 et Fig. 3).

Site / Opération	Numéro d'US	Masse envoyée (g)	Datation	RQ
Nort-Sur-Erdre (44) – Le Prutot	OA 186489 – PT 1381 - US 1393 - PLV40	110	Bronze final	Dominance minérale – gris – vase ?
Nort-Sur-Erdre (44) – Le Prutot	OA 186489 – PT 1381 - US 1382 - PLV39	120	Bronze final	Dominance minérale – gris – vase ?

Figure 2. Inventaire des prélèvements étudiés



Figure 3. Photographie du sondage (sondage 56, PT 1381)

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 pour les deux prélèvements.

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. 7).

Le pourcentage de chaque taxon par rapport à une somme de base a été calculé pour chaque niveau.

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 : Arborean Pollen / Non Arborean Pollen) 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 seule occurrence, 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 spores et pollens identifiés (Figures 6 et 7).

3.1. Analyse critique des résultats

Les analyses des deux échantillons ont permis d'atteindre les 300 grains par échantillon (Fig. 6).

Les concentrations de pollens observées à l'intérieur des deux échantillons sont assez inégales. En effet, nous obtenons une concentration d'environ 11000 pollens / mL pour le prélèvement n°39 et d'environ 39000 pollens / mL pour le prélèvement n°40. La conservation pollinique apparaît donc un peu meilleure pour le prélèvement n°40. Toutefois, les deux résultats restent « comparables » aux analyses réalisées en zones humides (ex. tourbières), où des concentrations de l'ordre de 50000 pollens / mL sont généralement atteintes.

La conservation de l'ensemble apparaît assez bonne. Il n'apparaît pas de conservation différentielle majeure pour les pollens les plus résistants, par exemple pour les pollens de Cichorioïdées. Le contexte sédimentaire semble donc être resté suffisamment stable et à l'abri de l'oxygène pour maintenir des conditions anaérobies favorables à la conservation pollinique.

La détection systématique et relativement importante des spores de Lycopodes introduits dans les volumes extraits (234 et 80 Lycopodes comptés, Fig. 9), témoigne de la réussite du traitement physico-chimique d'extraction du matériel sporo-pollinique.

On constate pour les deux échantillons des diversités taxonomiques intéressantes (32 taxons sporo-polliniques au total, Fig. 6) même si cela reste assez « moyen » vis-à-vis des diversités obtenues en contextes anaérobies naturels. Les fréquences des spores (fougères et mousses) observées sont quant à elles plus aléatoires et difficilement interprétables (Fig. 6 et 7).

La composition pollinique est légèrement dominée par les pollens d'arbres (de 55 à 60 % des pollens, Fig. 7). Ce résultat tendrait donc à décrire un paysage plutôt fermé.

Il faut toutefois s'intéresser au mode de déposition des pollens à l'intérieur de la structure en creux. En effet, contrairement aux analyses polliniques réalisées dans des contextes de dépôts sédimentaires « naturels » (ex. tourbières, zones alluviales), où la pluie pollinique est principalement associée aux apports aériens (apports polliniques régionaux), dans notre cas, le comblement a vraisemblablement en plus été alimenté par les ruissellements des environs immédiats (apports polliniques plus locaux). On peut donc supposer que l'image de l'environnement perçue est plutôt locale.

3.2. Interprétation des résultats

Les compositions polliniques des deux échantillons sont assez semblables sur le plan qualitatif. Même si l'on constate une concentration pollinique un peu plus importante pour le prélèvement n°40 (US 1393) et un peu plus de diversité pour le prélèvement n°39 (US 1382), ce sont globalement les mêmes associations végétales qui sont perçues.

Le spectre est légèrement dominé par les pollens d'arbres (entre 55 et 60%). 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 l'aulne produit 9 fois plus de pollens que les Poaceae, le chêne 6 fois plus, le noisetier 2 fois plus cf. tableau des Production Pollinique Européen selon F. Mazier *et al.*, 2012, Fig. 10).

Ainsi, même si la trame forestière devait encore couvrir une grande partie du paysage, la part des espaces ouverts (prairies, friches et jachères, communautés rudérales, zones en déprise agricole...) occupe probablement des zones de plus en plus importantes sous l'influence des activités humaines.

Les groupements forestiers sont perceptibles par l'intermédiaire des pollens de chêne (*Quercus sp.*), noisetier (*Corylus sp.*), bouleau (*Betula sp.*), tilleul (*Tilia sp.*), hêtre (*Fagus sp.*), frêne (*Fraxinus sp.*), Rosacées arbustifs et lierre (*Hedera sp.*) (Fig. 6 et 7).

A partir de ces essences on peut identifier deux grands types de formations forestières :

- le groupement apparenté à la **chênaie-hêtraie** avec le chêne, le hêtre et dans une moindre mesure le bouleau, les Rosacées (ex aubépine), le lierre,
- le groupement apparenté à la **chênaie sessiliflore** avec notamment le chêne, le noisetier, le tilleul et dans une moindre mesure le frêne, le bouleau, le noisetier et les Rosacées arbustifs.

L'identification de ces deux types de forêt est en cohérence avec l'évolution des groupements forestiers armoricains lors de la transition entre le Subboréal et le Subatlantique estimée aux environs de -1350 cal. BC/AD (Fig. 5, d'après Gaudin, 2004). On estime en effet que le groupement de la chênaie sessiliflore (représenté en vert sur la figure 5) connaît un développement maximum durant les périodes de l'Atlantique et du Subboréal. Il est probable que les températures relativement douces de ces périodes expliquent ce développement, notamment du tilleul à caractère thermophile. Le rafraîchissement qui survient au cours du Subboréal entraîne peu à peu le déclin de la chênaie sessiliflore en faveur de la chênaie-hêtraie (représentée en bleu sur la figure 5), qui se développe fortement au cours du Subatlantique, avec des conditions plus fraîches et plus humides (Fig. 5).

Quelques pollens de résineux (moins de 1%), dont le pin (*Pinus sp.*) ont aussi été détectés. Les pollens de résineux sont connus pour leurs fortes productions et importantes diffusions polliniques. Ces pollens sont donc peut-être d'origine lointaine.

Toujours concernant les végétations d'arbres, on détecte l'existence de **boisements hygrophiles** avec l'aulne (*Alnus sp.*). 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.

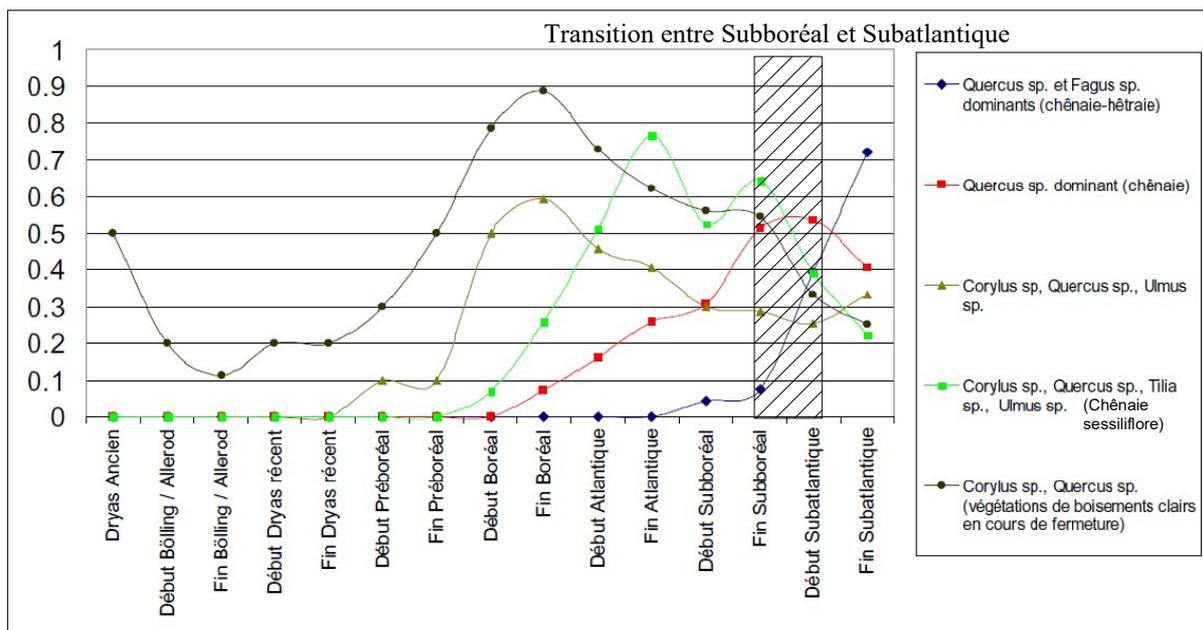


Figure 5. Évolution des fréquences des occurrences de divers groupements forestiers identifiés dans les études palynologiques et anthracologiques armoricaines depuis la fin de la dernière glaciation. La somme de base correspond aux effectifs des études palynologiques et anthracologiques (d'après Gaudin, 2004).

En ce qui concerne les végétations herbacées, on détecte à la fois les **groupements de friches et de jachères** (Poaceae, Asteraceae, Cichorioïdeae, Chenopodiaceae, Caryophyllaceae, *Potentilla sp.*), **les groupements de communautés rudérales, de lieux de pacage, de chemins** (*Plantago sp.* dont *Plantago lanceolata*, Chenopodiaceae, Asteraceae, Caryophyllaceae, Ericaceae, *Trifolium sp.*, Ranunculaceae), de **prairies hygro- à mésophiles pâturées** (Poaceae, *Plantago sp.* dont *Plantago lanceolata*, Cyperaceae, *Potentilla sp.*, *Trifolium sp.*, Dipsacaceae, Ranunculaceae). Cette dernière association pourrait suggérer une agriculture basée sur l'élevage. Des pollens de lentilles d'eau (*Lemna sp.*) ainsi que les Cyperacées montrent l'existence de zones humides. Les lentilles d'eau en particulier sont caractéristiques **de zones inondées**, peut-être en connexion avec « le puisard ».

Notons en revanche l'absence d'attestations caractéristiques des cultures. En effet, aucun pollen de céréales, ni de plantes accompagnatrices (adventices) des cultures n'ont été détectés. Il ne semble donc pas y avoir eu de cultures ou d'activités liées au traitement de céréales dans les environs immédiats de la structure PT1381.

4. SYNTHÈSE

Cette étude apporte des informations sur le paysage qui environnait le site durant le Bronze final (environ 1400 à 1200 cal. BC). Elle fait suite à des tests réalisés sur deux échantillons prélevés dans le fond du comblement de la structure PT181, interprétée comme un puisard. Ces pré-analyses révélèrent une bonne conservation des pollens (Gaudin, 2021).

Les prélèvements étudiés permirent d'obtenir des diversités (25 et 27 taxons par échantillon) et des concentrations polliniques assez importantes (environ 11000 et 40000 pollens/cm³) (Figures 6, 7 et 9).

La conservation pollinique semble relativement bonne. Les Cichorioïdées, taxons particulièrement résistants, ne semblent pas sur-représentés ce qui accrédite plutôt une conservation homogène de l'ensemble. Le contexte sédimentaire semble donc être resté globalement stable et à l'abri de l'oxygène, permettant le maintien de conditions anaérobies favorables à la conservation pollinique.

Les taux de pollens d'arbres représentent entre 55% et 60% des pollens. Il faut néanmoins relativiser l'importance de la couverture forestière au regard des productions polliniques plus importantes des arbres.

De plus, le contexte des sédiments analysés (puisard ?) 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 ce comblement est vraisemblablement davantage dépendante du ruissellement de l'environnement proche. Il résulte de cela une image du paysage probablement assez locale.

Au regard des résultats, on peut supposer que la trame de la mosaïque paysagère est encore très boisée. Les forêts (de type **chênaie sessiliflore, chênaie-hêtraie et boisements hygrophiles**) occupent une part importante de l'environnement. Mais on constate dans le même temps, probablement sous l'impact humain, le développement d'associations végétales herbacées telles que les groupements de **friches et de jachères, de prairies hygro- à mésophiles pâturées** et de **communautés rudérales : lieux de pacage, chemins.**

En revanche, les cultures (notamment des céréales) ne sont pas perçues dans les environs du site.

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., 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., 2021 - Tests palynologiques. Opérations archéologiques des sites du « Prutot » et de « La Verrière » sur la commune de Nort-sur-Erdre (44) Opération : OA186489. 17p. (Destinataire public : Pôle Archéologique – Département de Loire-Atlantique – Direction Culture – Grand Patrimoine de Loire-Atlantique. R.O. M Yacger).

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.

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	US1382 - PLV 39	US 1393 - PLV 40	
Pollens	Fragments polliniques Gymnosperme	1	4	
	Pinus	1	2	
	Quercus	73	81	
	Tilia	9	5	
	Fagus	6	0	
	Corylus	25	34	
	Betula	15	6	
	Alnus	18	28	
	Fraxinus	2	0	
	Hedera	0	4	
	ROSACEAE	1	0	
	POACEAE	48	78	
	CICHORIOIDEAE	17	10	
	ASTERACEAE	1	1	
	CARYOPHYLACEAE	0	3	
	CHENOPODIACEAE	0	1	
	Plantago	2	4	
	Plantago lanceolata	0	1	
	DIPSACACEAE (dont fragments)	5	20	
	Erica	1	1	
	ERICACEAE	2	1	
	RANUNCULACEAE	2	0	
	Trifolium	1	0	
	ROSACEAE	1	0	
	Potentilla	0	1	
	CYPERACEAE	12	6	
	Lemna	7	10	
	Spores	POLYPODIACEAE	2	3
		Spore monolète	39	82
		Polypodium	11	21
Selaginella		1	0	
Spore trilète		12	25	
Non pollinique	Phytolithes	0	2	
	Indéterminés	2	0	
	SOM. pollen (somme de base)	250	301	
	SOM. Sporo-pollinique	315	432	
	CONC. ABS Pollen (nb / cm3)	11137	39220	
	CONC. ABS Pollen et Spores (nb / cm3)	14032	56290	

Figure 6. Opération archéologique «du Prutot », commune de Nort-sur-Erdre (44), OA186489. Comptages correspondant aux pollens, spores et quelques autres types 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.

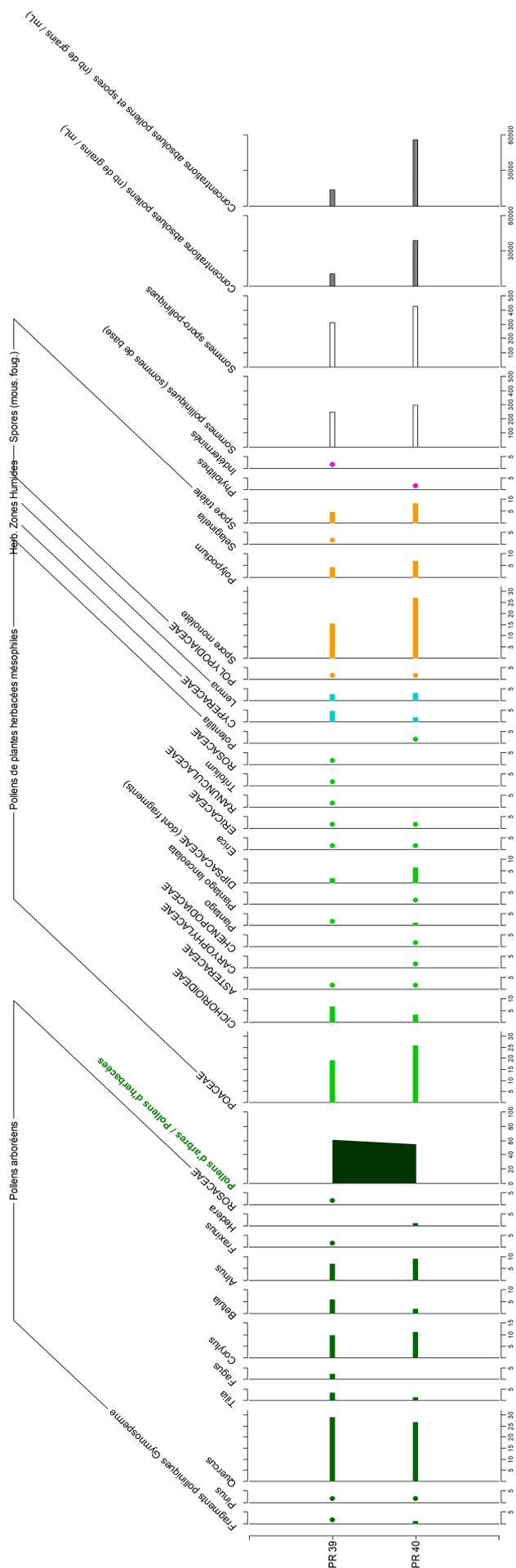


Figure 7. Diagramme sporo-pollinique du site «du Prutot », commune de Nort-sur-Erdre (44), OA186489. Les valeurs sont exprimées en fréquences relatives (%). La somme de base utilisée pour calculer les fréquences correspond à la somme des grains de pollens. Les spores ont donc été exclus de cette somme de base. La courbe (Pollen d'arbres /Pollen d'herbacées) 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 / cm3 de sédiment.

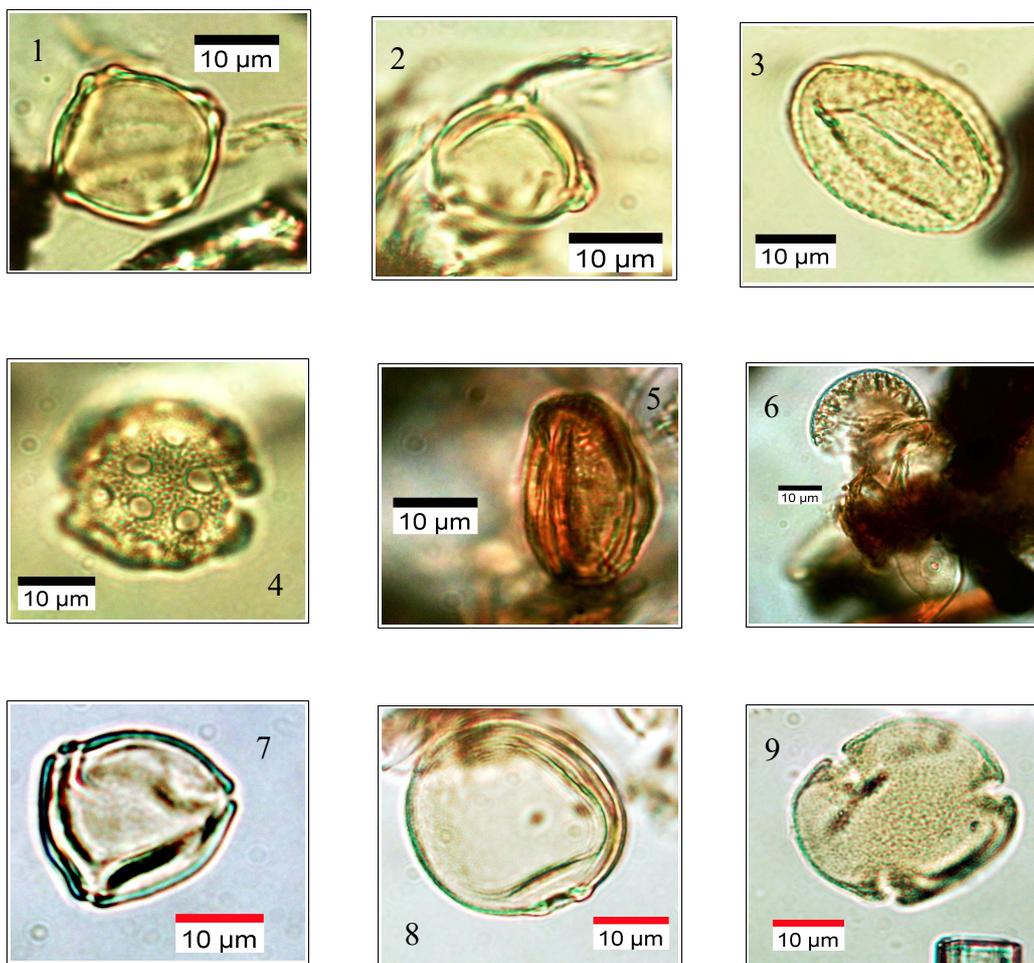


Figure 8. Photographies de pollens sous microscope optique à immersion, grossissement x1000. Les échelles représentent des micromètres. 1. Pollen d'aulne (*Alnus sp.*) prélèvement n°39 ; 2. Pollen de bouleau (*Betula sp.*) - prélèvement n°39 ; 3. Pollen de chêne (*Quercus sp.*) - prélèvement n°39 ; 4. Pollen de Caryophyllacée - prélèvement n°40 ; 5. Pollen de lierre (*Hedera sp.*) - prélèvement n°40 ; 6. Fragment de pollen de résineux, probablement de pin (*Pinus sp.*) en haut de l'image et de Poacée en bas de l'image, prélèvement n°40. 7. Pollen de noisetier (*Corylus sp.*) - prélèvement n°40, 8. Pollen de Poacée ou Graminée - prélèvement n°40. 9. Pollen de tilleul (*Tilia sp.*) - prélèvement n°39.

Code des prélèvements	Nombre de pollens comptés	Nombre de spores comptés	de et Lycopodes introduits comptés	Concentration absolue pollen spores	Concentration absolue pollen uniquement	Etat de conservation	Diversité taxonomique
US1382 – PR 39	250	315	234	14032	11137	Bon	27
US1393 – PR 40	301	432	80	56290	39220	Très favorable	25

Figure 9. 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	Vitesse de chute dans l'air des grains de pollen
	PPE (SE)	(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 10. 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 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°	Nom du demandeur	TECH	Date	Sol Exotique (lycopodes...)	Nombre grains	Num (1-8)	NOM DE LA CAROTTE	TRONCON	VOL	HCL	HF 48%	HF 70%
2454	GAUDIN	MG	9/11/20	lycopodes	20848	F	Nort sur Erdre	PLV 39	2	X	X	X
2454	GAUDIN	MG	9/11/20	lycopodes	20848	G	Nort sur Erdre	PLV 40	2	X	X	X

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