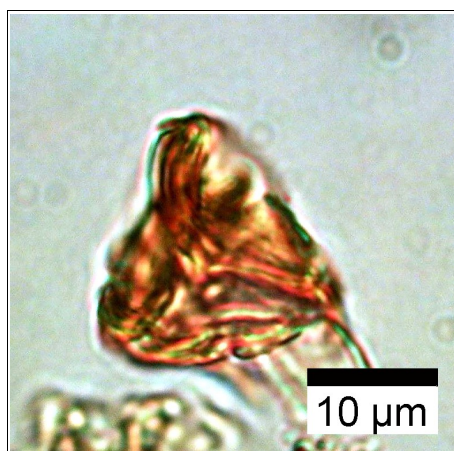


ANALYSES SCIENTIFIQUES DES DÉCOUVERTES ARCHÉOLOGIQUES : ÉTUDES PALYNOLOGIQUES



ANALYSE PALYNOLOGIQUE. OPÉRATION ARCHÉOLOGIQUE DE « LA CHAROUILLÈRE – DÉVIATION DE MACHECOUL » RÉALISÉE SUR LES COMMUNES DE LA MARNE, PAULX, MACHECOUL (44)

OPÉRATION : OA186455

**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**

**Analyse palynologique d'un prélèvement de l'opération
archéologique de « La Charouillère - déviation de Machecoul »
réalisée sur les communes de La Marne, Paulx, Machecoul (44)**

Opération : OA186455

Références de l'échantillon étudié :

Prélèvements provenant des structures et US indiquées :

Z4 - F. 4254 – US 4129.1

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 d'Ericacée (bruyère type Erica sp.), Grossissement x1000.

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	4
1. PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS, STRATIGRAPHIE et OBJECTIFS.....	5
2. TRAITEMENT CHIMIQUE et OBSERVATION DES ECHANTILLONS.....	6
2.1 Le protocole d'extraction utilisé.....	6
2.2 Les comptages et déterminations.....	6
2.3 Le diagramme pollinique	8
3. RESULTATS, INTERPRETATION.....	9
3.1. Analyse critique des résultats.....	9
3.2. Interprétation des résultats.....	10
4. SYNTHESE.....	12
5. BIBLIOGRAPHIE.....	13
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'une analyse palynologique réalisé sur un prélèvement de l'opération archéologique menée sur la déviation de Machecoul au lieu-dit « La Charouillère ». Les sondages se sont déroulés durant l'année 2019 dans quatre zones sur les communes de La Marne, Paulx et Machecoul. Ils ont été réalisés par le service archéologique du Département de Loire-Atlantique sous la direction de M. Tan.

Le prélèvement provient du comblement d'un puits de la zone 4, situé à proximité de vestiges médiévaux. L'échantillon correspond plus précisément à un niveau daté du 9e-10e siècle.

Ce rapport fait suite à une pré-étude (Gaudin, 2020a) qui visait à estimer le contenu palynologique de l'échantillon. Les résultats du test étant prometteur, l'analyse plus approfondie du prélèvement a été retenue.

L'étude a été commandée par Mme Vorenger et M. Tan, archéologues du pôle archéologique départemental, avec l'accord de Mme Mavéraud-Tardiveau, directrice du pôle archéologique.

1. PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS, STRATIGRAPHIE et OBJECTIFS

La fouille de la zone 4, correspond à une occupation du Moyen-Age.

Selon un premier descriptif fourni par l'archéologue (M. Tan), le prélèvement provient d'un enclos circulaire daté du Haut Moyen-Age. Des vestiges de bâtiments se situeraient plus à l'est.

Le comblement du puits semblerait un peu postérieur. Selon Mme Vorenger, des analyses radiocarbones réalisées sur des charbons issus du niveau étudié indiqueraient des dates du 9e – 10e siècle de notre ère.

Pour ce qui concerne plus précisément le prélèvement du fond de puits, la détection d'un reste de pieu en bois constituait un indicateur à priori favorable à la conservation des pollens, ce qui a été confirmé par l'analyse. Le résultat des tests (Gaudin, 2020a) révéla une concentration pollinique (environ 14000 pollens / mL) et une diversité (17 taxons) intéressantes. De façon générale, le comblement du puits a probablement fourni des conditions anaérobies permanentes rendant la conservation des pollens possible.

L'objectif de cette étude vise à obtenir une description du paysage végétal mais aussi, compte tenu du contexte sédimentaire (puits), obtenir des informations sur le fonctionnement du puits (utilisation entraînant divers rejets ?).

Le prélèvement a été réalisé directement en stratigraphie (Fig. 1).

Code opération	Fait - US – Numéro de prélèvement	Masse envoyées pour traitement (g)	Datation	Description archéologique
LA MARNE-PAULX-MACHECOUL-La Charouillère-Déviation de Machecoul 2019-Fouille, Zone 4 : opération OA186455	F4254 – US4129 – PLV 4129.1	73	Haut Moyen-Age – Moyen-Age Central	Comblement de puits

Figure 1. Description du prélèvement étudié

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 2. 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).

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. 4).

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 (Voeltzel, 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 : Arboreen Pollen / Non Arboreen 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 ou deux occurrences (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 (d'où par exemple des fréquences supérieures à 100 pour les *spores monolètes* et *spores trilètes*).

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 3 et 4).

3.1. Analyse critique des résultats

L'analyse de l'échantillon a permis d'atteindre plus de 600 grains de pollens et de spores (dont 320 pollens, Fig. 3 et 6).

La concentration de pollens constatée à l'intérieur de l'échantillon est assez bonne, puisque l'on atteint une concentration d'environ 25000 grains de pollens / cm³, valeur comparable aux concentrations obtenues dans des dépôts organiques tels que dans les tourbières souvent de l'ordre de 50000 pollens / mL.

La détection relativement importante des spores de Lycopodes introduits dans les volumes extraits (90 Lycopodes comptés, Fig. 6), témoigne de la réussite du traitement physico-chimique d'extraction du matériel sporo-pollinique.

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

On constate une diversité intéressante puisqu'une trentaine de taxons a pu être discernée : 26 types de pollens, 5 types de spores et quelques microfossiles non polliniques ont été identifiés (Fig. 3 et 4), même si cela reste inférieur aux diversités obtenues en contextes anaérobies naturels (ex. zones humides).

Les pollens et spores identifiés correspondent principalement à des végétations herbacées (environ 65% des pollens). Ce résultat tendrait donc à décrire un paysage plutôt ouvert. Toutefois, il est assez probable que cette image soit déformée à cause de la nature des sédiments analysés et du mode de dépôt à l'intérieur du 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 le comblement est vraisemblablement avant tout associé aux rejets liés au comblement et utilisation du puits mais aussi aux ruissellements (infiltrations) des environs immédiats (apports polliniques plus locaux).

Ce sont donc plutôt des cortèges polliniques associés à des rejets des activités humaines et des environs du puits (un kilomètre tout au plus ?) qui sont pressentis.

3.2. Interprétation des résultats

Le spectre est dominé par les pollens d'herbacées (environ 65% du spectre) ce qui correspondrait à un paysage plutôt ouvert, mais où les boisements sont encore bien présents.

Les végétations forestières sont perceptibles par l'intermédiaire de pollens de chêne (*Quercus sp.*) qui représentent environ 15% et dans une moindre mesure de pollens de noisetier (*Corylus sp.*), de bouleau (*Betula sp.*), de hêtre (*Fagus sylvatica*), de tilleul (*Tilia sp.*), d'orme (*Ulmus sp.*) et de lierre (*Hedera sp.*).

Au regard des essences identifiées, on peut proposer deux types de chênaies : la **chênaie-hêtraie** avec notamment, le chêne, le hêtre, le bouleau, le saule voire le noisetier et la **chênaie sessiliflore** qui est caractérisée par la présence du tilleul en plus du chêne, de l'orme, du noisetier et du hêtre.

La chênaie-hêtraie est caractéristique de la période climatique du Subatlantique (dont fait partie le Moyen-Age) sur le Massif armoricain (Gaudin, 2004). Cette formation forestière se développe fortement au cours de cette période avec des conditions globalement plus fraîches et plus humides que la période précédente (Subboréal)

Le groupement apparenté à la chênaie sessiliflore sous-tend des faciès écologiques plus secs. Le tilleul est une essence xérophile à mésophile, même s'il peut parfois aussi faire partie du cortège des forêts ripicoles (humides), voire de la chênaie-hêtraie (Rameau et al., 1989).

Notons la détection à la fois du noisetier (*Corylus sp.*) et du bouleau (*Betula sp.*). Ce sont des taxons à large amplitude écologique que l'on peut retrouver associés à la chênaie mais aussi aux boisements hygrophiles. Ce sont des arbres pionniers qui pourraient caractériser des espaces en cours de reboisement. Ils peuvent correspondre à des **boisements clairs** comme les lisières de forêts caducifoliées, les friches, les haies ou des secteurs en déprise agricole. La détection de quelques pollens de lierre (*Hedera sp.*) caractérisent aussi ces boisements clairs.

Les **boisements hygrophiles (humides)** sont représentés par l'aulne (*Alnus sp.*) et le saule (*Salix sp.*). Le noisetier et le bouleau pourraient aussi faire partie de ces boisements humides, situés près de berges ou à l'intérieur d'une zone alluviale.

Les boisements de résineux sont détectés par l'intermédiaire de quelques fragments polliniques (Gymnosperme), dont le pin (*Pinus sp.*). Ces boisements sont toutefois difficiles à cerner à cause de modes de diffusion et de production importantes. Il s'agit probablement de formations lointaines.

En ce qui concerne les végétations herbacées, on détecte à la fois les **groupements de friches et de jachères** (Poaceae, Asteraceae dont Cichorioideae, Chenopodiaceae, Caryophyllaceae, Apiaceae, Rosaceae (type *Potentilla sp.*)) et le groupement de **prairies hygro- à mésophiles pâturées** (Poaceae, Cyperaceae, Asteraceae dont *Centaurea nigra*, Apiaceae, Rosaceae (type *Potentilla sp.*), Dipsacaceae (type *Succissa sp.*), *Equisetum sp.*, Ericaceae).

Les taux de pollens de bruyères (Ericaceae dont *Erica sp.*) sont assez importants puisqu'ils représentent un peu plus de 10%. Ils proviennent vraisemblablement de **formations de landes** (Ericaceae, Poaceae, *Polypodium sp.*, Asteraceae, Rosaceae dont *Potentilla sp.*). Notons que des charbons de bruyères avaient aussi été identifiés dans un prélèvement de la zone 4 (Fait F4190 – US 4301) lors de l'étude

anthracologique (Gaudin, 2020b). Ces landes sont généralement le résultat de recolonisation de terrains pauvres, souvent abandonnés par l'Homme suite à une surexploitation agricole. Ces formations ont elles-même parfois été exploitées, par exemple comme lieu de pâturage (on parle de pâturage sec) ou bien pour des activités de charbonnages comme le suggère l'analyse anthracologique (Gaudin, 2020b).

L'association des cultures est perceptible avec l'identification de quelques pollens de céréales (*Cerealia type*) dont probablement de seigle (*Secale type*). Toutefois, les attestations de plantes adventices (*Centaurea sp.*) et de plantes rudérales (Chenopodiaceae, Cichorioideae) sont rares, ce qui laisse penser que les cultures étaient assez éloignées. Les pollens de céréales pourraient plutôt caractériser les activités de traitement des céréales qui se seraient déroulées autour du puits (ex. battage, stockage, alimentation).

De façon générale, il est possible que les pollens de céréales et d'Apiacées (famille de la carotte) soient en lien direct avec les activités agro-alimentaires du site.

Le nombre de spores monolètes et trilètes est très important puisqu'environ 300 grains ont été comptés. Les fréquences de ces spores (fougères et mousses) sont souvent aléatoires et difficilement interprétables (Figures 3 et 4). Ces spores pourraient provenir pour partie des mousses et des fougères situées sur les parois à l'intérieur du puits.

Quelques microrestes non polliniques sont présents, notamment des « amérospores des types HdV-207, Dictyospores et microrestes fongiques de type TM-4093, TM-318 ». Ce sont pour la plupart des microrestes d'origine fongique (champignons) mais dont la signification écologique n'est pas toujours très claire. Quelques spores algales et supposées de type TM-4021 rappellent le caractère humide du contexte de dépôt.

4. SYNTHESE

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

Le prélèvement étudié permet d'obtenir une concentration pollinique assez importante (environ 25000 grains de pollens / mL) avec une diversité intéressante (une trentaine de taxons sporo-polliniques) (Figures 3 et 4).

La conservation pollinique semble relativement bonne. Les Cichorioïdées, taxons particulièrement résistants, n'apparaissent pas excessivement 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 pollens identifiés correspondent surtout aux végétations herbacées, ce qui pourrait être interprété comme la conséquence de paysages ouverts. Toutefois, le contexte des sédiments analysés amène à s'interroger sur le mode de déposition des pollens. En effet, la composition pollinique est vraisemblablement largement inféodée à la nature des sédiments analysés. Contrairement aux analyses polliniques réalisées dans des contextes de dépôts sédimentaires « naturels », où la pluie pollinique est avant tout associée à des apports aériens, la composition pollinique analysée dans le comblement du puits est probablement en partie liée aux ruissellements et infiltrations des eaux de pluies mais aussi aux activités humaines autour du puits.

L'étude des associations polliniques a permis d'identifier des groupements végétaux **de friches et de jachères**, de **prairies hygro- à mésophiles pâturées**, de **landes** et de **cultures** (probablement éloignées).

En ce qui concerne les cultures, plusieurs taxons polliniques peuvent être directement rattachés aux activités agro-alimentaires : **les céréales dont le seigle** mais peut être aussi **la famille de la carotte (Apiacées)**.

Des formations de **chênaies diversifiées**, de **boisements clairs** et de **boisements humides** sont aussi perçues, mais elles devaient être assez clairsemées dans le paysage ou relativement éloignées du puits.

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.

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.

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., 2020a – Test palynologique. Opération archéologique de « La Charouillère - déviation de Machecoul » réalisée sur les communes de La Marne, Paulx, Machecoul (44), OA186455. 18p. (Destinataire public : Pôle Archéologique – Département de Loire-Atlantique – Direction Culture – Grand Patrimoine de Loire-Atlantique. R.O. M Tan et Mme Mavéraud-Tardiveau).

GAUDIN L., 2020b - Analyse des fragments charbonneux prélevés lors de l'opération archéologique de « La Charouillère – Déviation de Machecoul » réalisée sur les communes de La Marne, Paulx, Machecoul (44). Opérations : OA186453, OA186454, OA186455. Rapport d'étude anthracologique, 44 p. (Destinataire public : Pôle Archéologique – Département de Loire-Atlantique – Direction Culture – Grand Patrimoine de Loire-Atlantique, R.O. C. Tan)

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.

LOPEZ SAEZ J.-A., LOPEZ GARCIA P. et BURJACHS F., 2003 – Arqueopalinologia : síntesis crítica. *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.

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., 115p.

RAMEAU J.C., MANSION D. et DUME G., 1989 - *Flore forestière française, guide écologique illustré*. T.1, plaines et collines, Institut pour le développement forestier, Paris, 1785 pages.

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.

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 pollénoanalytiques 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	Z4 – F. 4254 – US 4129.1
Pollens	Frag. Polliniques de Gymnosperme	2
	Pinus	1
	Quercus	57
	Ulmus	1
	Tilia	5
	Fagus	5
	Corylus	11
	Betula	1
	Alnus	7
	Salix	1
	Hedera	12
	POACEAE	92
	CICHORIOIDEAE	43
	ASTERACEAE	2
	CARYOPHYLLACEAE	1
	CHENOPODIACEAE	5
	DIPSACACEAE	11
	Succissa	1
	ERICACEAE	23
	Erica	14
	Cerealìa type	5
	Secale type	1
	Centaurea type nigra	2
	ROSACEAE	1
	APIACEAE	1
	CYPERACEAE	15
Spores	Equisetum	1
	Spore monolète	147
	Polypodium	32
	Selaginella	1
	Spore trilète	107
Non pollinique	Amérospores – Type HdV-207	12
	Spores algales et supposées – Type TM-4021	1
	Dictyospores et microrestes fongiques – Type TM-4093	1
	Microrestes colorés – Type TM-318	1
	Phytolithes	2
	Indéterminés	2
	SOM. pollen (somme de base)	320
	SOM. Sporo-pollinique	608
	CONC. ABS Pollen (nb / cm3)	24709
	CONC. ABS Pollen et Spores (nb / cm3)	46947

Figure 3. Opération de « La Charouillère - déviation de Machecoul » réalisée sur les communes de La Marne, Paulx, Machecoul (44), OA186455. Prélèvement de la zone 4-Structure F. 4254 – US 4129.1. 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.

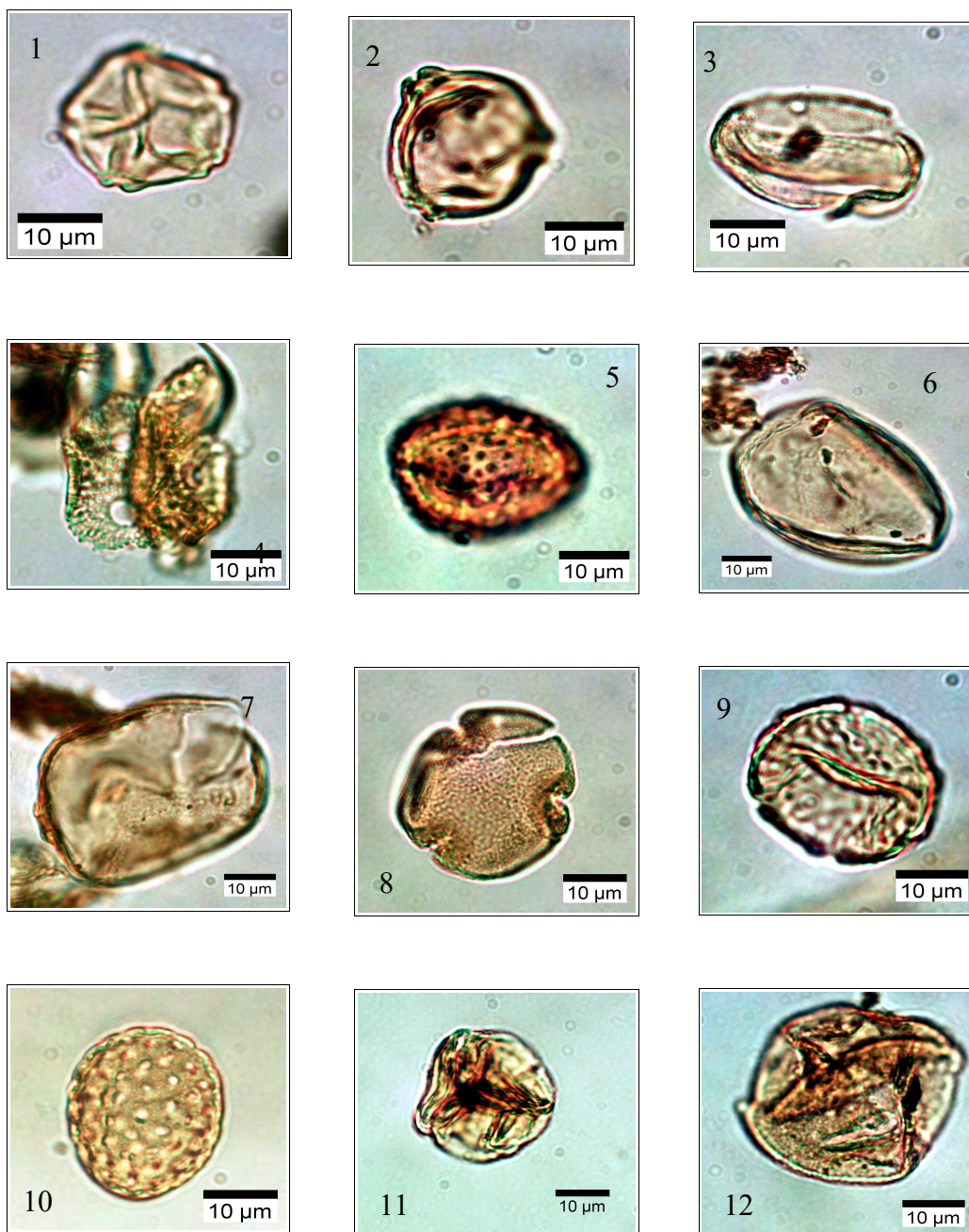


Figure 5. Photographies de pollens sous microscope optique à immersion, grossissement x1000. Les échelles représentent des micromètres. 1. Pollen d'aulne (*Alnus sp.*) ; 2. Pollen de bouleau (*Betula sp.*) ; 3. Pollen de chêne (*Quercus sp.*) ; 4. Fragment de pollen de Caryophyllacée ; 5. Pollen de centaurée (*Centaurea type nigra*) ; 6. Pollen de céréale type seigle (*Cerealia type secale*) 7. Pollen de céréale (*Cerealia type*) 8. Pollen de tilleul (*Tilia sp.*). 9. Pollen d'orme (*Ulmus sp.*) 10. Pollen de chénopodiacée (*Chenopodiaceae*) 11. Pollen de bruyère (*Ericaceae*). 12. Pollen de hêtre (*Fagus sylvatica*).

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 de taxonomique
Z4 – F. 4254 –	320	608	90	46947	24709	favorable	31

Figure 6. Nombre de pollens et de spores comptés, nombre de grains par cm³ de sédiment, diversité taxonomique, états de conservation estimés pour chaque prélèvement.

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. Éliminer 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 10µ, 20s Ultra son, 2mn HNO₃, filtration 10µ

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 10µm

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

- Préparation de la gélatine glycinée

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

- Préparation du glycérine bidistillée phénolée pour la conservation

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

7.2. Description des échantillons et des traitements

Serie N°	Nom du demandeur	TEC	Date	Sol exotique	Nombre grains	Num (1-8)	NOM CAROTTE	Poids	VOL (mL)	HCL	HF 48%	HF 70%	Filtration 8 postes	KOH froid	Filtration 5/10/15 microns	Filtration ultrason (s)	Type montage (G, L)	Nb Lame
2432	GAUDIN	MG	21/07/20	Lycopode	20848	H	Machecoul	5,388g	3	x	x	x			10		L	1

Figure 7. Description des traitements réalisés pour l'extraction pollinique (UMR EPOC).