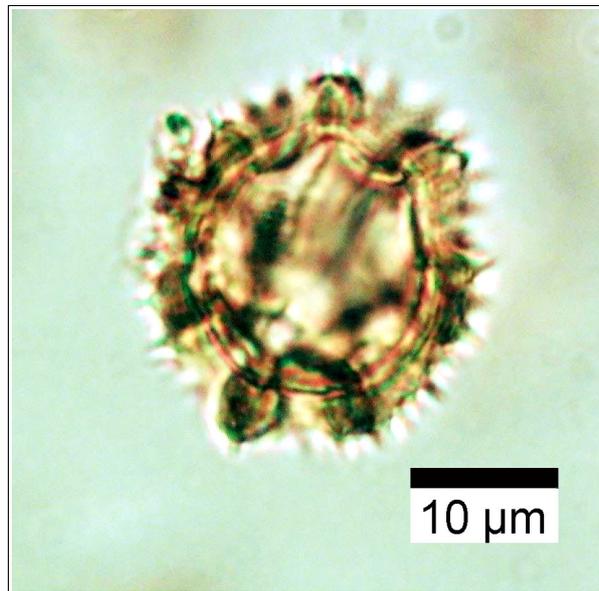




ArkéoMap

ANALYSES SCIENTIFIQUES DES DÉCOUVERTES ARCHÉOLOGIQUES : ÉTUDES PALYNOLOGIQUES



**ANALYSE PALYNOLOGIQUE D'UN PRÉLÈVEMENT RÉALISÉ DANS LE
COMBLEMENT D'UN PUITS DE LA TÈNE, LORS DE L'OPÉRATION
DE LA ZAC « PORTES DU LOIRET »,**

PRÉLÈVEMENT : EA1302 – PLV204 – US 11103.2.

**Service de l'archéologie préventive
Département du Loiret**

Rapport d'étude palynologique

Novembre 2022

Service de l'archéologie préventive
Département du Loiret

Opération archéologique « ZAC Portes du Loiret »

Références des échantillons étudiés :

Prélèvement provenant du comblement d'un puits : EA1302 – PLV204 – US 11103.2.

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

Novembre 2022

Illustration de la page de couverture : Pollen de Cichorioïdée observé dans le prélèvement EA1302 – PLV204 – US 11103.2. Grossissement x1000. L'échelle représente des micromètres.

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

INTRODUCTION

Cette étude s'inscrit dans le cadre d'une campagne de fouille archéologique préventive sur la commune de Saran (45) sur le site de la ZAC Portes du Loiret en 2020-2021 (zone F). La mission a été confiée au service archéologie préventive du Département du Loiret.

La fouille a notamment permis d'appréhender un enclos situé en bordure d'un grand axe de circulation (voie Orléans Chartres) mis en place dès la Tène finale. Plusieurs phases d'occupation ont été datées entre la Tène C et la transition gallo-romaine précoce.

Ce document présente les résultats d'analyse palynologique d'un prélèvement du comblement initial d'un puits à eau creusé dans le calcaire sur 20 m de profondeur.

Ce rapport vise à détailler le contenu palynologique de ces prélèvements afin de décrire la mosaïque paysagère qui environnait le site durant la période d'utilisation du puits.

Cette opération a été menée par le service archéologique du Loiret. L'étude a été commandée par la responsable d'opération Mme Amélie Laurent-Dehecq.

1. PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS, STRATIGRAPHIE et OBJECTIFS

L'étude palynologique concerne un prélèvement du comblement initial d'un puits à eau creusé dans le calcaire sur 20 m de profondeur. Ce comblement était conservé dans la nappe d'eau actuelle (hauteur de 90 cm observée lors de la fouille), mais il n'est pas certain que les conditions d'humidité se soient maintenues en permanence depuis l'antiquité.

Ce puits est situé au sein de l'enclos protohistorique et a été fouillé intégralement en février-mars 2021. Le prélèvement a été conservé au frigo (4°C) dans une boîte en plastique hermétique.

Les conditions d'humidité constituent un critère à priori favorable à la conservation pollinique, car les conditions anaérobies limitent généralement la biodégradation des pollens.

Le test se révéla favorable (Gaudin, 2022) (Fig. 2). En effet, les premières analyses permirent d'estimer des concentrations polliniques de l'ordre de plus de 100000 grains / ml avec une diversité intéressante.

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).

INVENTAIRE PALYNOLOGIQUE		
Commune :	Saran (45) - ZAC Portes du Loiret	
Nom de l'opération / Lieu-Dit :		
Année :	Février - mars 2021	
N° OA :		
Resp. d'Op.	Amélie Laurent-Dehecq	
Type d'opération :	fouille préventive	
Période d'analyse pressentie	01/10/22	

Faits US SD Nature	Description sédimentaire	Période / date
EA 1302 - PRL 204 - US 11103.2	Sablo-limoneux ; couleur gris clair	La Tène

Figure 1. Inventaire des prélèvements étudiés.

Code des prélèvements	Nombre de pollens comptés	Nombre de spores et Lycopodes introduits comptés	Concentration absolue pollen et spores	Concentration absolue pollen uniquement	Etat de conservation	Diversité taxonomique	Remarque	Indice de potentiel d'étude
Saran - EA 1302 - PRL 204 - US 11103.2	70	78	1	717873	644245	Bon	18 Céréales	2

Figure 2. Opération archéologique de l'opération de la ZAC « Portes du Loiret » sur la commune de Saran (45). 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, 2022). 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).

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

Les outils utilisés pour les déterminations sont de plusieurs sortes :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2.3 Le diagramme pollinique

Le diagramme sporo-pollinique (spores et pollens) a été réalisé à l'aide du logiciel « C2 data analysis version 1.7.6 » (Fig. 5).

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 spores et pollens identifiés (Figures 4 et 5).

3.1. Analyse critique des résultats

L'analyse a permis d'observer plus de 340 grains de pollens pour le prélèvement (Fig. 4 et 7).

La concentration de pollens observée est très favorable voire excellente puisque l'on atteint une concentration de plus de 100000 grains de pollens /mL. Ce sont des concentrations comparables aux concentrations obtenues dans des dépôts organiques tels que dans les tourbières.

La concentration absolue calculée apparaît importante, mais cela est surtout lié au très faible nombre de lycopodes exotiques observés biaisant ainsi le calcul des concentrations absolues. En effet, seulement deux grains de lycopodes exotiques ont été observés.

On constate assez peu de conservations différentielles. En effet, les pollens de Cichorioïdées et d'Asteracées, taxons particulièrement résistants n'apparaissent pas particulièrement sur-représentés. Il est donc assez probable que le comblement du puits se soit maintenu dans des conditions anaérobies, favorables à la conservation pollinique, y compris lors de périodes sèches.

On constate une diversité intéressante avec une trentaine de types de pollens observés, trois types de spores et quelques microfossiles non polliniques (Fig. 4 et 5).

Les pollens et spores identifiés correspondent principalement à des végétations herbacées (un peu plus de 70 % des pollens). Ce résultat tendrait donc à décrire un paysage relativement ouvert. Le taux de pollens de chêne (environ 20%) n'est cependant pas négligeable. Toutefois, il est assez probable que cette image paysagère 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 de type tourbière, 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 à l'utilisation du puits et aux ruissellements (infiltrations) des environs immédiats (apports polliniques plus locaux). Quelques micro-fossiles non polliniques, notamment un fragment de thèque d'œuf de vers parasite de type *Trichuris sp.* témoigne d'apports par ruissellement (d'eau usées) depuis les environs du puits.

Ce sont donc plutôt des cortèges végétaux associés aux rejets des activités humaines et des environs immédiats du puits qui sont pressentis.

3.2. Interprétation des résultats

Le spectre est dominé par les pollens d'herbacées (environ 70% du spectre) ce qui correspondrait à un paysage plutôt ouvert. Toutefois, le taux de boisements de feuillus n'est pas négligeable.

Les pollens de chêne qui représentent environ 20% du total, proviennent de **chênaies** probablement relativement proches. On peut évoquer le groupement apparenté à la **chênaie diversifiée et la chênaie-hêtraie** avec notamment des pollens de chêne (*Quercus sp.*), de hêtre (*Fagus sp.*), de tilleul (*Tilia sp.*), voire de noisetier (*Corylus avellana*) et de viorne (*Viburnum sp.*) en lisière de forêt ou en sous-bois.

Notons que le groupement de la chênaie-hêtraie correspond au groupement forestier typique de la période climatique du Subatlantique, largement détecté par la palynologie et majoritaire dans le nord-ouest de la France à cette époque (Gaudin, 2004).

Quelques pollens d'aulne (*Alnus sp.*), accompagnés probablement aussi des pollens de noisetier témoignent de **boisements hygrophiles**, peut-être depuis une zone alluviale ou des bords d'une zone humide.

Les pollens de noisetier, essence ubiquiste, pourraient provenir à la fois de boisements hygrophiles mais aussi de **boisements clairs**. Peut-être d'espaces en déprise agricole ou de **haies**.

Les boisements de résineux sont détectés par l'intermédiaire d'un seul pollen de pin de type sylvestre (*Pinus sylvestris*). L'origine de ce pollen est toutefois difficile à cerner à cause de modes de diffusion et de productions importantes (Fig. 8). Il s'agit probablement d'une origine lointaine.

De façon générale, au regard des taux de pollens d'arbres observés (environ 30%), les formations de boisements semblent assez proches et occupent probablement encore une part importante du paysage, peut-être sous la forme de **boisements denses et relativement proches**.

En ce qui concerne les végétations ouvertes, les communautés végétales sont principalement composées de graminées (Poacées) (environ 50% des pollens).

Ces végétations herbacées correspondent, par ordre d'importance, à des **groupements de friches et de jachères** (Poaceae, Asteraceae dont Cichorioideae et Carduaceae, Chenopodiaceae, Caryophyllaceae, Brassicaceae, *Rumex*), **des groupements de communautés rudérales, de lieux de pacage, de chemins** (*Plantago sp.*, Urticaceae, Chenopodiaceae, Ranunculaceae, Asteraceae, Poaceae, *Calluna vulgaris*, Apiaceae) et de **prairies hygro- à mésophiles pâturées** (Poaceae, Cyperaceae, *Centaurea type nigra*, Asteraceae, *Plantago sp.*, *Plantago major/media*, *Alchemilla sp.*, Apiaceae, Ranunculaceae, *Calluna vulgaris*).

L'association des cultures est bien représentée avec l'identification d'environ 5% de pollens de céréale (*Cerealia type*) accompagnés de pollens de plantes adventices (oseille : *Rumex sp.*) et de plantes rudérales (*Plantago sp.*, Chenopodiaceae, Cichorioideae, Urticaceae).

Les céréales sont des essences qui produisent et diffusent relativement peu (Fig. 8 d'après Mazier *et al.*, 2012). Or, le contexte du puits implique un transport des pollens par ruissellement depuis les espaces environnants mais aussi par les divers « rejets » liés à l'utilisation du puits. Afin d'expliquer la présence de ces pollens de

céréale on peut donc supposer la présence de cultures dans un environnement assez proche (sur « le bassin versant » du puits), mais aussi peut-être des apports liés aux activités de traitements des céréales (stockage, battage?) qui ont pu se dérouler à proximité du puits.

Quelques rares pollens de **plantes aquatiques** (*Alismacées*) correspondent aux végétations de l'intérieur du puits ou des fossés et zones humides environnantes.

Le nombre de spores monolètes et trilètes est assez important puisque plus de 60 grains ont été comptés dans l'échantillon. Les fréquences de ces spores (fougères et mousses) observées sont souvent aléatoires et difficilement interprétables (Figures 4 et 5). Ces spores pourraient provenir de mousses et de fougères à l'intérieur ou à proximité du puits.

Quelques microfossiles non polliniques ont régulièrement été observés, notamment des « Dictyospores - TM-4093 » et des « amérospores des types HdV-207 et HdV-27 ». Ce sont pour la plupart des microrestes d'origine fongique (champignons) dont la signification écologique n'est pas toujours très claire. Le type HdV27 serait un parasite des sphaignes, et le type HdV 207 correspondrait au champignon *Glomus*, parasite de plantes herbacées (Miolat *et al.*, 2012). Quelques microfossiles non polliniques tels que des concentricystes et « spores algales et supposées type HdV-181 » proviendraient d'algues.

Un fragment de cuticules d'œuf de vers parasite de type *Trichuris sp.* (Fig. 6) a aussi été détecté (Fig. 4 et 6). Ce sont des vers parasites du tube digestif humain pouvant affecter aussi les chiens, le renard et le porc. On peut supposer un apport lié aux ruissellements et rejets des activités humaines à l'intérieur du puits, notamment l'infiltration « d'eaux usées »...

4. SYNTHÈSE

Cette étude apporte des informations de compréhension du site sur le plan paléopaysager.

Les prélèvements étudiés permirent d'obtenir des concentrations polliniques (plus de 100000 grains de pollens / mL) et diversités intéressantes (environ 30 taxons sporo-polliniques) (Figures 4, 5 et 7).

La conservation pollinique est apparue satisfaisante avec très peu de conservations différentielles (les taxons les plus résistants : Cichorioïdées et Asteracées notamment ne sont pas sur-représentés). La prépondérance des pollens d'herbacées montre un paysage qui devait être plutôt ouvert mais environné par des boisements de chênaies **relativement importantes ou assez proches**.

Le contexte des prélèvements analysés amène toutefois à s'interroger sur la provenance des pollens. En effet, les prélèvements réalisés en fond de puits impliquent des modes de déposition différents de ceux rencontrés en contexte ouvert (ex. tourbières, fonds de vallée) où la pluie pollinique est majoritairement aérienne. Dans le cadre de ce puits, les compositions polliniques seraient en partie dues aux ruissellements et infiltrations des eaux depuis les surfaces environnantes mais aussi probablement aux rejets liés aux activités humaines (ex. activités de traitements de céréales, mais aussi infiltration « d'eaux usées » si l'on s'en tient à la détection de cuticules d'œuf de vers parasites). Le paysage perçu est donc probablement très local.

L'étude a permis d'identifier des groupements végétaux de **cultures** (céréales), **de friches et de jachères**, de **prairies hygro- à mésophiles pâturées** et de **communautés rudérales : lieux de pacage, zones d'habitats, chemins**.

En ce qui concerne les boisements, des formations de **chênaies diversifiées, chênaies-hêtraies**, voire de quelques **boisements clairs** et **boisements humides** sont perçus. Ces boisements clairs et boisements humides devaient être assez éloignés ou clairsemés dans le paysage.

5. BIBLIOGRAPHIE

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

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

CHESTER P.I. & IAN RAINE J., 2001 - Pollen and spore keys for Quaternary deposits in the northern Pindos Mountains, Grana, 40, Greece, p. 299-387.

CUGNY C., 2011 - Apport des microfossiles non-polliniques à l'histoire du pastoralisme sur le versant nord pyrénéen. Entre référentiels actuels et reconstitution du passé. Thèse de doctorat, 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., 2022 - Test palynologique d'un prélèvement réalisé dans le comblement d'un puits de La Tène, lors de l'opération de la ZAC « Portes du Loiret », sur la commune de Saran (45). Rapport de tests palynologiques. Service de l'archéologie préventive Département du Loiret, octobre 2022, 18 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.

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>.

MIOLAT A., 2012 - *Tools for Non-Pollen Palynomorphs (NPPs) analysis: A list of Quaternary NPP types and reference literature in English language (1972-2011)*. *Review of Palaeobotany and Palynology*. Ed. Elsevier, 186, p. 142-161.

LEROYER C., ALLENET G., 2006 - L'anthropisation du paysage végétal d'après les données polliniques : l'exemple des fonds de vallées du Bassin parisien. In. ALLEE P., LESPEZ L. - L'érosion entre Société, Climat et Paléoenvironnement, Clermont-Ferrand, Presse Universitaires Blaise-Pascal Collection « Nature et Sociétés » n°3, p. 65-74.

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.

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 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

		EA 1302 – PRL 204 – US 11103.2	
Taxons \ Code Prélèvements			
Pollens	Pinus sylvestris	1	
	Quercus	72	
	Tilia	4	
	Fagus	4	
	Corylus	9	
	Alnus	3	
	Viburnum	1	
	POACEAE	148	
	CICHORIOIDEAE	23	
	CARDUACEAE	10	
	CARYOPHYLACEAE	4	
	CHENOPODIACEAE	12	
	BRASSICACEAE	3	
	Plantago	7	
	Plantago major/media	1	
	URTICACEAE	2	
	Calluna	1	
	Cerealia type	16	
	Rumex	1	
	Centaurea	2	
	Centaurea type nigra	1	
	RANUNCULACEAE	5	
	Alchemilla	2	
	APIACEAE	5	
	CYPERACEAE	2	
	ALISMACEAE	1	
	Spores	Spore monolète	69
		POLYPODIACEAE	2
Spore trilète		6	
Non pollinique	Concentricyste	1	
	Amérospores – HdV-207	24	
	Amérospores – HdV-27	72	
	Dictyospores – TM-4093	27	
	Spores algales et supposées – HdV-181	1	
	Phytolithes	4	
	Microcharbons (feuillus)	7	
	Thèque œuf <i>Trichuris sp.</i>	1	
	Ponte (métazoaires)	1	
	Indéterminés	2	
	SOM. pollen (somme de base)	340	
SOM. Sporo-pollinique	417		
CONC. ABS Pollen (nb / cm3)	1564595		
CONC. ABS Pollen et Spores (nb / cm3)	1918930		

Figure 4. Opération archéologique de l'opération de la ZAC « Portes du Loiret » sur la commune de Saran (45). 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.

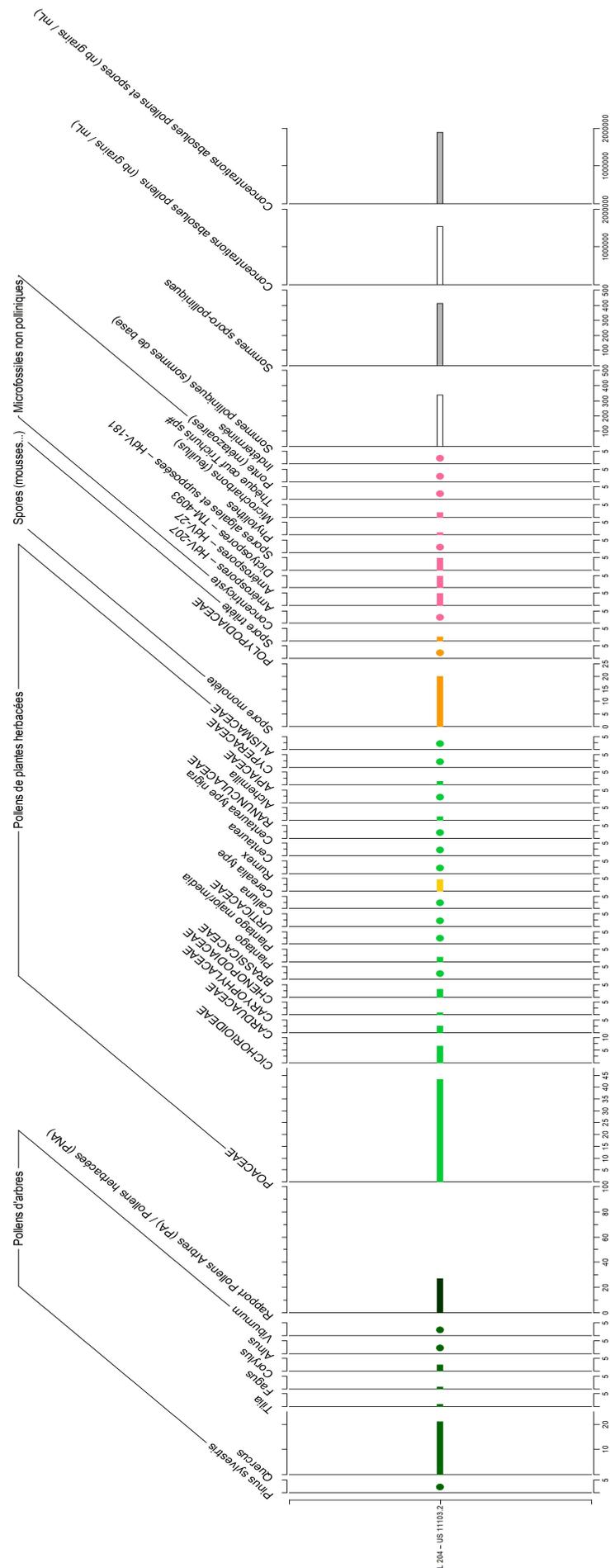


Figure 5. Diagramme spore-pollinique du site de l'opération archéologique de la ZAC « Portes du Loiret » sur la commune de Saran (45). Les valeurs sont exprimées en fréquences relatives (%). La somme de base utilisée pour calculer les fréquences correspond à la somme des grains de pollens. Les spores 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.

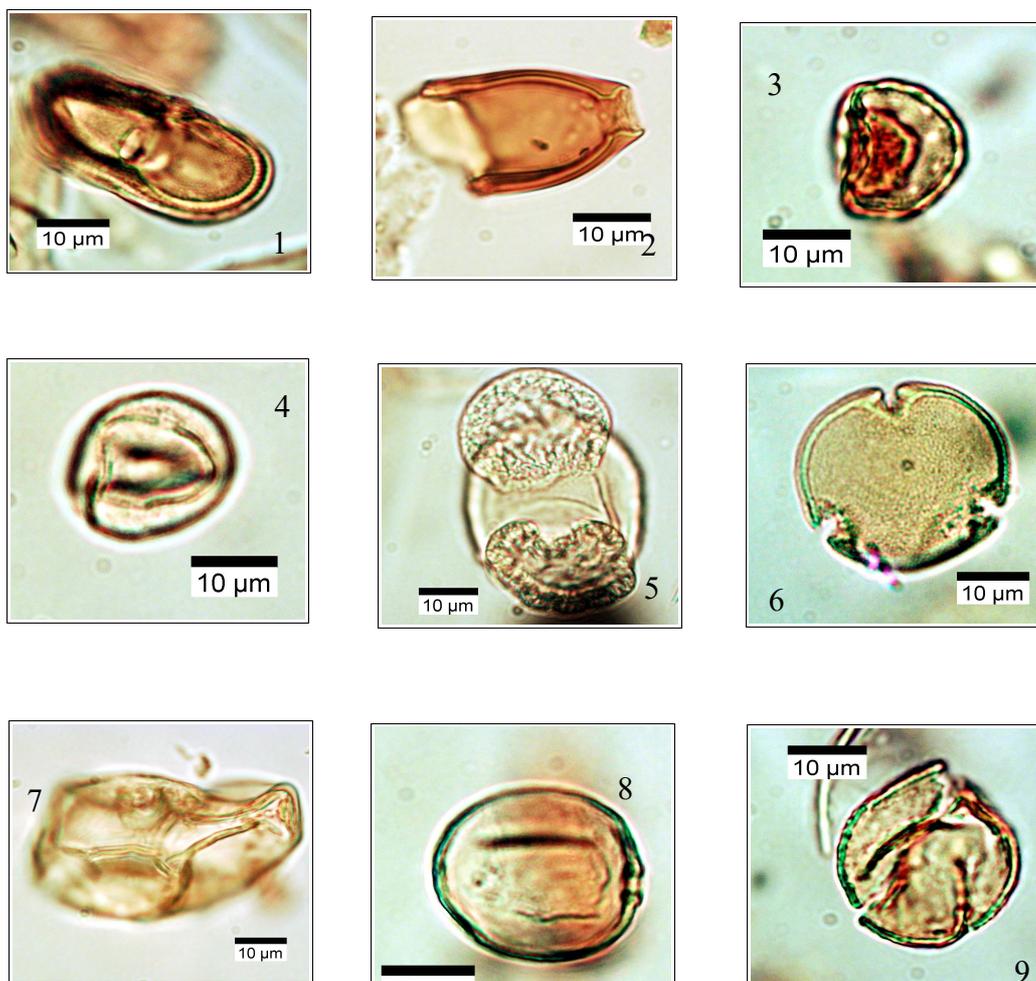


Figure 6. Photographies de pollens sous microscope optique à immersion, grossissement x1000. Les échelles représentent des micromètres. 1. Pollen de la famille de la carotte (Apiacée) ; 2. Fragment de thèque d'œuf de *Trichuris* ; 3. Pollen de la famille des Chénopodiacées ; 4. Pollen d'oseille (*Rumex sp.*) ; 5. Pollen de pin type sylvestre (*Pinus type sylvestris*) ; 6. Pollen de tilleul (*Tilia sp.*) ; 7. Pollen de céréale (*Cerealia type*) ; 8. Pollen de graminée (Poacée) ; 9. Pollen de chêne (*Quercus sp.*) ;

Code des prélèvements	Nombre de pollens comptés	Nombre de spores comptés	de pollens et Lycopodes introduits comptés	Concentration absolue pollen et spores	Concentration absolue pollen uniquement	Etat de conservation	Diversité taxonomique
EA 1302 – PRL 204 – US 11103.	340	417	2	1918930	1564595	Bon	29

Figure 7. Nombre de pollens et de spores comptés, nombre de grains par cm³ de sédiment, diversité taxonomique, états de conservation estimés pour chaque prélèvement.

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

Figure 8. 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)

Élimination 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 10 μ , 20s Ultra son, 2mn HNO₃, filtration 10 μ

Montage

Montage à la glycérine bidistillée phénolée (lames mobiles)

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

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

Conservation

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

Annexes

- Fournisseur des pastilles de lycopodes

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

- Fournisseur des filtres de 10 μ m

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

- Préparation de la gélatine glycérinée

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

- Préparation du glycérine bidistillée phénolée pour la conservation

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

7.2. Description des échantillons et des traitements

Sol Exotique (lycopodes...)	Nombre grains	Num (1-8)	NOM DE LA CAROTTE	VOL	Poids sec	HCL	HF 48%	HF 70%	filtration 5/10/15 microns	filtration Ultrason(s)	Date de montage	NB de lame	Résidu (I,M,F,N)
oui	18407	F	EA1302	2	3,794	X	X	X	10	20	16/9/22	1	M

Figure 9. Description des traitements réalisés pour l'extraction pollinique (UMR EPOC).