



ArkéoMap

ANALYSES SCIENTIFIQUES DES DÉCOUVERTES ARCHÉOLOGIQUES : ANALYSES PALYNOLOGIQUES



ANALYSES PALYNOLOGIQUES DE 4 PRÉLÈVEMENTS ARCHÉOLOGIQUES RÉALISÉS LORS DE L'OPÉRATION DU SITE DE L'A79-D15B5 NORD À TOULON-SUR-ALLIER (03).

PUITS ANTIQUES ET PALÉOCHENAL.

OPÉRATION : OA 038938

SERVICE D'ARCHÉOLOGIE PRÉVENTIVE DU DÉPARTEMENT DE L'ALLIER

Rapport d'analyses palynologiques

Août 2024

Service d'Archéologie Préventive du Département de l'Allier.

Analyses palynologiques de 4 prélèvements réalisés lors de l'opération du site de l'A79-D15b5 nord à Toulon-sur-Allier (03). Opération : OA 038938

Rapport d'analyses palynologiques

Loïc GAUDIN

membre associé à l'UMR 6566 CReAAH et chargé de cours l'Université de Rennes 1

E-mail : loic.gaudin@arkeomap.com

Site web : arkeomap.com

Août 2024

Illustration de la page de couverture : Pollen d'orme (Ulmus sp). Grossissement x1000. L'échelle représente des micromètres. Prélèvement n° 2307.

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.....	12
4. SYNTHESE	16
5. BIBLIOGRAPHIE.....	18
6. FIGURES.....	20
7. ANNEXE.....	24
7.1. Détail du protocole d'extraction utilisé :.....	24
7.2. Description des échantillons et des traitements	27

INTRODUCTION

L'opération archéologique est située sur la commune de Toulon-sur-Allier (03). La fouille concerne un site antique et le comblement d'un paléochenal (daté de l'Age du Bronze à l'époque romaine).

Dix prélèvements ont fait l'objet d'extractions et de tests polliniques (Gaudin, 2024). Les prélèvements ont été réalisés à l'intérieur des comblements de puits et dans la stratigraphie d'un paléochenal. Ces tests réalisés dans un premier temps visaient à mesurer la conservation pollinique des prélèvements. Ces premiers résultats montrèrent des conservations hétérogènes. Quatre des dix prélèvements ont été jugés suffisamment intéressants (en terme de qualité, de quantité de pollens mais aussi de compréhension du site) pour mener des analyses complémentaires (Gaudin, 2024). Nous avons donc poussé l'étude de manière à obtenir un « diagramme pollinique » sur la base de ces quatre prélèvements. Ce rapport synthétise les résultats d'analyses et interprétation de ces quatre prélèvements.

Cette opération a été menée par le Service d'Archéologie Préventive du Département de l'Allier. La fouille ci-présente a été dirigée par M. Simon Baraton, responsable d'opération.

1. PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS, STRATIGRAPHIE et OBJECTIFS

Les dix prélèvements ayant fait l'objet de tests proviennent de complements de puits (puisards?) antiques et du complement d'un paléochenal. Ils ont été directement réalisés en stratigraphie (Fig. 1).

INVENTAIRE PALYNOLOGIQUE	
Commune :	Toulon-sur-Allier (03)
Nom de l'opération / Lieu-Dit :	site de l'A79-D15b5-nord Site 4
Année :	2023
N° OA :	OA 038938
Resp. d'Op. ; commanditaire	Simon Baraton
Type d'opération :	Préventif
Période d'analyse pressentie	mi août 2024

N° de prélèvement	Faits et US	Masse envoyée (g)	Description sédimentaire	Prélèvements retenus après les tests.
PR 2303	F2207, US 2207.5	147	Dominance organique limoneux: gris-brun	oui
PR 2307	F2207, US 2207.6	381	Dominance minérale, Sablo- limoneux: gris-brun	oui
PR 2305	F2207, US 2207.7	148	Dominance organique limoneux: gris-brun foncé	
PR 2306	F2207, US 2207.8	129	Dominance minérale, Sablo- limoneux: gris-brun	oui
PR 2128	F2018, US 2018.4	111	Dominance organique	
PR 2238	F2018, SD5, US 2018.10,	314	Dominance minérale, Sablo- limoneux: gris-brun	
	F3009, SD1, US 3009.2	262	Argilo-limoneux, couleur gris-beige.	
PR 1475	F1268, US 1268-11/8	363	Dominance minérale, Sablo- limoneux: gris-brun	
PR 1198	F1005, US 1005.9	388	Dominance minérale, Sablo- limoneux: gris-brun	oui
	US 4069	434	Dominance argileuse, gris-beige. Liquide	

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

Les contextes de puits, de puisards sont potentiellement les plus favorables en contexte de fouilles archéologiques, car les conditions y sont généralement humides et plus anaérobies que les structures de type fosse et fossé.

Les résultats des tests révélèrent toutefois des conservations polliniques hétérogènes (Fig. 2 et 12).

Code des prélèvements	Nombre de pollens comptés	Nombre de spores et de Lycopodes comptés	Concentration absolue pollen et spores	Concentration absolue pollen uniquement	Etat de conservation	Diversité taxonomique	Remarque	Indice de potentiel d'étude
PR 2303 - F2207, US 2207.5	77	132	30267	17656	Bon	19	Cons. Diff. Cicho et Céréale	2
PR 2307 - F2207, US 2207.6	91	152	14852	8892	Bon	20	Cons. Diff. Cicho	2
PR 2305 - F2207, US 2207.7	6	14	743	318	Très mauvais	5		5
PR 2306 - F2207, US 2207.8	44	91	4699	2272	Moyen	13	Cons. Diff. Cicho	3
PR 2128 - F2018, US 2018.4	1	4	125	69	Très mauvais	2		5
PR 2238 - F2018, SD5, US 2018.10	10	20	139	412	Très mauvais	6		5
F3009, SD1, US 3009.2	2	15	122	604	Très mauvais	2		5
PR 1475 - F1268, US 1268-11/8	14	41	101	2327	Très mauvais	3		5
PR 1198 - F1005, US 1005.9	46	104	67	7627	Mauvais	12	Cons. Diff. Cicho	3 à 4
US 4069	10	16	54	1698	Très mauvais	3		5

Figure 2. Opération archéologique OA 038938 de la commune de Toulon-sur-Allier (03). Tableau synthétisant les sommes, les concentrations absolues en spores et pollens (en nb/mL de sédiment) ainsi que la diversité taxonomique de chaque prélèvement suite aux résultats des tests palynologiques (extrait de Gaudin, 2024). Un ordre des « potentialités d'analyses » des échantillons est proposé en tenant compte des résultats des tests (l'indice de 1 correspondant à un test très favorable, l'indice 5 correspondant à un résultat très défavorable).

En effet, six prélèvements montrèrent des concentrations polliniques faibles avec des valeurs ne dépassant guère les 1000 pollens / mL (prélèvements n° PR2305, PR2128, PR2238, F3009, PR1475, US 4069).

Quatre prélèvements ont été retenus pour des analyses complètes au regard des concentrations polliniques, des diversités taxonomiques observées et la compréhension du site (Gaudin, 2024). Notons que l'extraction issue du prélèvement n°1198 n'est pas très bonne (Fig. 2). Après concertation, nous avons tout de même choisi d'analyser ce prélèvement du fait de son contexte de découverte particulier : un puits cuvelé dont le comblement comportait des restes de céramiques (Fig. 4)

Trois des quatre prélèvements retenus proviennent de la structure F2207 (PR 2303, PR 2307, PR 2306). Cette structure est décrite comme un puisard et présente plusieurs comblements distincts allant du milieu du IIe au milieu du IIIe siècle, jusqu'à un rebouchage à la fin du IIIe – courant IVe ap. J.-C. Les trois prélèvements sont associés à différents niveaux stratigraphiques (Fig. 1).



Figure 3. A gauche photographie de la coupe stratigraphique du comblement du puisard F2207. A droite, relevé stratigraphique avec positionnement des différents prélèvements.

Un autre prélèvement (PR1198) provient de la structure F1005 correspondant à un puits cuvelé en bois. La structure a été datée par dendrochronologie au début du IIIe siècle.

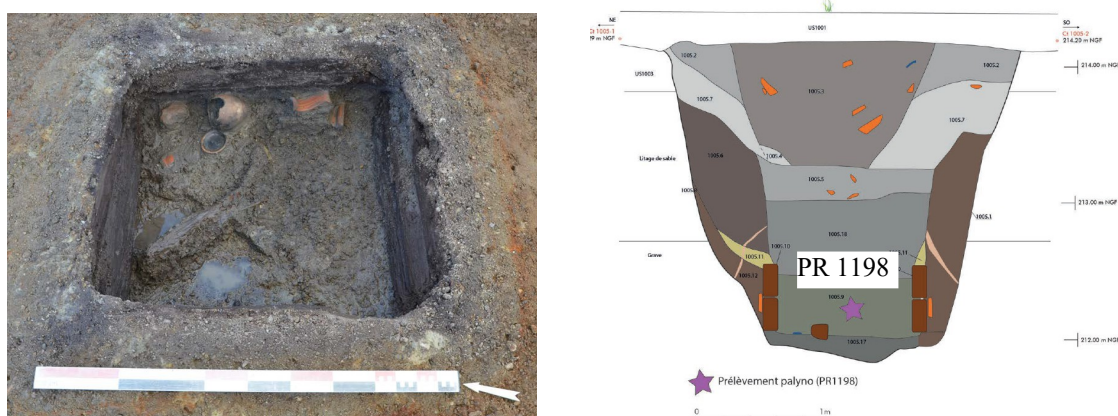


Figure 4. A gauche photographie du puits F1005 cuvelé. A droite, relevé stratigraphique avec positionnement du prélèvement PR 1198.

2. TRAITEMENT CHIMIQUE et OBSERVATION DES ECHANTILLONS

2.1 Le protocole d'extraction utilisé

L'extraction pollinique a été réalisée au sein du laboratoire de l'UMR CNRS 5805 EPOC (Environnements et Paléoenvironnements Océaniques et Continentaux) à l'université de Bordeaux.

Le protocole utilisé est détaillé en annexe (chapitre 7.1.).

2.2 Les comptages et déterminations

Les pollens ont été observés au sein du laboratoire ARKEOMAP. L'observation des extractions a été réalisée sous microscope optique à immersion aux grossissements x500 et x1000 (microscopes OLYMPUS CX21 et CX40).



Figure 5. Microscope d'observation (Olympus CX 21, ArkéoMap)

Les outils utilisés pour les déterminations sont de plusieurs sortes :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2.3 Le diagramme pollinique

Le diagramme sporo-pollinique (spores et pollens) a été réalisé à l'aide du logiciel « C2 data analysis version 1.7.6 » (Fig. 7).

Le pourcentage de chaque taxon a été calculé par rapport à une somme de base correspondant au total des pollens observés.

La question de la prise en compte des spores dans la somme de base n'est pas sans poser quelques problèmes. L'exemple de *Sphagnum sp.* a été étudié par J. Heim (1970) qui a constaté que la production de spores de sphaigne pouvait varier sans concordance évidente avec le couvert végétal du site considéré. Plus généralement, les Ptéridophytes et les Bryophytes présentent une sporulation souvent difficile à interpréter. Aussi, les spores sont généralement exclues de la somme de base (Voetzel, 1987 ; Barbier, 1999 ; Ouguerram, 2002). Pour notre part, les caractéristiques de production et de dispersion des spores étant différentes des caractéristiques polliniques, nous avons aussi choisi d'exclure les spores de la somme de base.

Les diagrammes sont réalisés à partir de ces pourcentages et les échantillons analysés apparaissent en lignes.

Sur ces diagrammes figurent de la gauche vers la droite :

- l'identifiant du prélèvement correspondant dans notre cas aux unités stratigraphiques,
- l'ensemble des fréquences relatives de chaque taxons d'arbres puis des arbustes déterminés lors du comptage,
- un diagramme de type « Iversen », synthétisant la somme des pollens d'arbres vis à vis des pollens d'herbacées (AP / NAP : Pollens d'arbres / Pollens d'herbacées) et de plantes aquatiques. Ces courbes permettent d'estimer l'évolution des parts relatives des végétations boisées vis-à-vis des végétations herbacées et aquatiques dans le paysage environnant,
- les courbes individuelles continues en pourcentages relatifs des taxons polliniques de plantes herbacées et aquatiques. Au sein des herbacées, les taxons sont ordonnés par leurs affinités écologiques,
- les courbes individuelles continues des spores de Ptéridophytes, des Bryophytes puis des microfossiles non polliniques.

Remarque :

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

3. RESULTATS, INTERPRETATION

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

3.1. Analyse critique des résultats

Les quatre prélèvements analysés proviennent des comblements de deux structures différentes. Trois prélèvements (PR2303, PR 2306, PR2307) proviennent du puisard F2207. Les prélèvements ont été prélevés directement en stratigraphie. Le quatrième prélèvement (PR 1198) a été prélevé en fond du comblement du puits F1005.

- L'analyse des trois prélèvements du comblement du puits F2207 permet d'obtenir des pollens en quantités et qualités variées.

Plus de 300 grains de pollens ont été observés pour les prélèvements PR 2307 et PR 2303. Pour le prélèvement PR 2306, ce sont 177 pollens (314 spores et pollens) qui ont été observés. La détection importante des spores de Lycopodes introduits dans les volumes extraits (de 137 à 264 grains), montrent la réussite du traitement physico-chimique d'extraction du matériel sporo-pollinique (Fig. 10).

Les concentrations de pollens constatées pour les échantillons PR2303 et PR 2307, sont plutôt bonnes (de l'ordre de 7000 à 16000 pollens / mL). On constate des diversités intéressantes, de l'ordre de 30 taxons sporo-polliniques.

Pour le prélèvement n°2306, la conservation pollinique est moins bonne. La concentration est plus faible (de l'ordre de 4000 pollens / mL) et une diversité de 18 taxons.

De façon générale on constate une sur-représentation des grains les plus résistants (Cichorioïdées et spores monolètes notamment), la composition pollinique est donc sujette à des phénomènes de conservations différentielles. Il est possible que le comblement du puits F2207 se soit retrouvé régulièrement en contextes « aérobies » (ex. phénomènes de battements de nappe) propices à l'oxydation biologique ou physico-chimique des pollens les moins résistants. Il faut donc interpréter les résultats de ces prélèvements avec précaution. Les valeurs quantitatives (fréquences relatives) notamment, ne peuvent être considérées comme fiables. Nous nous baserons davantage sur les associations polliniques (ou groupe de végétations) observées pour interpréter les résultats de ce prélèvement.

La forme du « réceptacle » pollinique, de type puits, implique des modes de dépôts polliniques qui sont probablement davantage liés à des phénomènes de « ruissellement », depuis les surfaces environnantes aux puits, plutôt qu'à des apports de types « aériens », plus régionaux. Pour ces trois prélèvements ce sont donc plutôt des cortèges polliniques locaux ou liés aux activités humaines à l'intérieur ou dans les environs immédiats autour du puits qui sont pressentis.

- L'analyse du prélèvement PR 1198 associé au comblement du puits F1005

La concentration pollinique obtenue pour ce prélèvement est de l'ordre de 4600 pollen / mL ce qui est relativement peu par rapport à des contextes de conservation plus favorables tels que les tourbières (souvent plus de 50000 pollens / mL).

177 pollens ont été observés pour 22 taxons sporo-polliniques identifiés.

La détection en forte quantité (223 grains) des spores de Lycopodes introduits dans les volumes extraits témoigne là aussi de la réussite du traitement physico-chimique d'extraction du matériel sporo-pollinique (Fig. 7 et 10).

De nouveau, les grains les plus résistants à la corrosion (ex. Cichorioïdées, spores monolètes) apparaissent sur-représentés. La composition pollinique est donc sujette à des phénomènes de conservations différentielles. Les pollens les plus fragiles ont probablement disparu suite à des phénomènes d'oxydation biologiques (respiration) et physico-chimique. Comme pour le puits F2207, on peut évoquer des phénomènes de battements de nappe donnant lieu à des conditions plus ou moins aérobies propices à la biodégradation.

De même que pour le comblement du puits F2207, la forme du capteur pollinique implique des apports à la fois par voie aérienne mais aussi et surtout (?) par ruissellement des surfaces environnantes. Ce sont donc potentiellement des cortèges polliniques à la fois régionaux mais aussi de provenances très locales qui sont attendus.

3.2. Interprétation des résultats

Les résultats d'analyses des quatre prélèvements ont été interprétés en fonction des deux structures de provenance (Fig. 7 et 8).

- Spectres polliniques des prélèvements n°2307 (US 2207.6), n°2303 (US 2207.5), n°2306 (US 2207.8) : comblements du puisard F2207 datés du milieu du IIe au milieu du IIIe siècle, rebouchage fin IIIe – courant IVe siècle.

Pour les trois prélèvements, les spectres polliniques sont dominés par les pollens d'herbacées (environ 70 à 80%) ce qui correspondrait à un paysage globalement ouvert. Il faut toutefois modérer cette interprétation au regard des taux très élevés de pollens de Cichorioïdée (pollens particulièrement résistants à la corrosion), impliquant de fait une sur-représentation des pollens de plantes herbacées. Malgré les faibles taux de pollens d'arbres, la présence des végétations arborescente n'est donc probablement pas négligeable dans le paysage. Même si le paysage devait être globalement ouvert, on peut penser que la forêt ou des bois, voire des haies, devaient environner le site.

Les boisements sont essentiellement composés de feuillus, même si quelques pollens de résineux : pin (*Pinus sp.*), sapin (*Abies sp.*), probablement d'origines lointaines, sont aussi perçus.

En ce qui concerne les forêts, la détection de pollens de chêne (*Quercus sp.*) en proportions relativement importantes dans PR2306 et PR 2303, mais aussi de quelques occurrences de hêtre (*Fagus sylvatica*) (PR2303, PR 2307), d'orme (*Ulmus sp.*) et de noisetier (*Corylus avellana*) permettent d'interpréter les forêts de types « **chênaie-hêtraie** » et « **chênaie mixte** ».

Notons une évolution assez nette dans les compositions polliniques arborescentes. En effet, en fond de comblement, dans prélèvement n°2307, on constate des taux de pollens d'orme relativement élevés (environ 10%) alors que ceux du chêne sont plutôt bas (environ 3%). On constate une inversion des tendances dans les niveaux supérieurs avec une diminution des taux d'orme (environ 5 à 3%), au bénéfice des taux du chêne (environ 10 à 15%). Cela pourrait donc traduire une disparition progressive des boisements d'orme favorisant le développement du chêne. L'orme étant plutôt associé à des végétations alluviales, hygrophiles, on peut suggérer l'apparition de conditions plus drainantes, voire des comblements de zones humides locales, plus propice au développement du chêne, voire du noisetier (*Corylus avellana*) dont perçoit aussi un petit ressaut (PR 2303). Des défrichements de boisements alluviaux ne sont pas non plus à exclure.

L'aulne (*Alnus sp.*) est systématiquement détecté dans les trois spectres polliniques. Il est accompagné du noisetier (*Corylus avellana*) et du peuplier (*Populus sp.*) montrant l'existence de **boisements hygrophiles**, peut-être depuis une zone alluviale ou des bords d'une zone humide. Ces boisements hygrophiles sont probablement assez éloignés ou réduits car les pollens d'aulne ne représentent pas plus de 2 % de la composition pollinique totale. Les pollens de noisetier (*Coryllus avellana*) (3% pour le spectre n°2303) essence ubiquiste, pourrait provenir de ce même type de boisement hygrophile mais aussi de **boisements clairs**, peut-être d'espaces nouvellement défrichés, en déprise agricole ou de haies.

Fait intéressant, on note l'observation d'un pollen de **vigne (*Vitis sp.*)** dans le prélèvement du fond de puits (PR2307, US2207.6). Il n'est bien sûr pas possible de préciser l'origine de ce pollen. Est-ce un pollen de vigne sauvage ou cultivé, voire d'origine alimentaire ?

En ce qui concerne les végétations herbacées, les communautés végétales sont principalement représentées par des pollens de graminées (Poacées) (10% à 20%), de Cichorioïdées (40 à 60% !) et des spores monolètes.

Notons toutefois que l'abondance des taux de Cichorioïdées et de spores est avant tout liée à la conservation différentielle de leurs enveloppes sporopolliniques très résistantes à la corrosion. Il faut donc modérer la sur-représentation de ces taxons (cf. note chapitre 3.1.).

Les trois prélèvements montrent des compositions polliniques herbacées assez semblables, même si le prélèvement PR 2306 est plus lacunaire.

La mosaïque paysagère se compose de **groupements de friches et de jachères** (Poaceae, Asteraceae dont Cichorioïdeae, *Artemisia sp.*, Chenopodiaceae, *Polygonum sp.*, *Rumex sp.*, Caryophyllaceae, *Plantago sp.*, Brassicaceae), de **groupements de communautés rudérales, de lieux de pacage, de chemins** (*Plantago sp.*, *Plantago lanceolata*, Urticaceae, Chenopodiaceae, Asteraceae, Caryophyllaceae, Poaceae, *Polygonum sp.*, Ericaceae) et de **prairies hygro- à mésophiles pâturées** (Poaceae, Cyperaceae, Asteraceae, *Centaurea type nigra*, *Plantago sp.*, Ericaceae dont *Calluna sp.*, *Polygonum sp.*, *Alchemilla sp.*). Des petites formations de **landes** peuvent aussi être suggérées par l'intermédiaire de pollens de bruyères (Ericacées), d'Asteracées dont *Centaurea nigra*, de Poacées, de fougères (*Pteridium sp.*, spores monolètes). Ces landes sont synonymes de sols pauvres. Elles pourraient être la conséquence d'importants défrichements et de sur-exploitations des sols à des fins agricoles.

L'association des cultures peut être interprétée grâce à quelques pollens de **céréale** détectés dans les prélèvements n°2307 (US 2207.6) et n°2303 (US 2207.5). Ces pollens de céréale sont accompagnés à la fois de pollens de plantes adventices (*Rumex sp.*, *Centaurea type jacea*, *Centaurea type cyanus*) et de plantes rudérales (*Plantago sp.*, *Polygonum sp.*, Chenopodiaceae, Cichorioïdeae). Ces ensembles polliniques attestent de pratiques de céréalicultures.

L'observation des pollens de céréale en contexte de puits pose question car ce sont des essences qui produisent et diffusent relativement peu (Fig. 11, d'après Mazier *et al.*, 2012). La détection de ces pollens de céréale est donc à mettre en relation soit avec la proximité de cultures, soit d'activités de traitement (ex. battages) des céréales dans les environs du puits. L'hypothèse d'apports liés à des rejets alimentaires (eaux usées) n'est pas non plus à exclure. La même hypothèse peut être proposée pour expliquer la présence du pollen de vigne.

Quelques pollens de plantes aquatiques, massettes (*Typha latifolia*), Potamot (*Potamogeton sp.*) ont été identifiés. Ils montrent l'existence de **zones inondées plus ou moins profondes**, en relation probablement avec des phénomènes de ruissellement et du fonctionnement du puits.

Le nombre de spores monolètes, trilètes et de fougère aigle (*Pteridium sp.*) est important puisque plus de cent grains ont systématiquement été comptés. Les fréquences de ces spores (fougères et mousses) observées sont souvent aléatoires et difficilement interprétables. Ces spores pourraient provenir de

mousses et de fougères situées à proximité des structures, voire à l'intérieur du puits.

Enfin, de nombreux « microrestes non polliniques » sont présents, notamment des « amérospores des types HdV-207 » (genre *Glomus*, parasite de plantes herbacées), des « amérospores des types HdV-27, des « spores algales et supposées - types HdV-181, HdV-182 ». Ce sont pour la plupart des microrestes d'origine fongique (champignons) mais dont la signification écologique n'est que rarement établie.

Notons aussi la détection de quelques Concentricystes et Dinoflagellés. Ces microfossiles sont caractéristiques de conditions d'eau douce pour les Concentricystes mais parfois aussi saumâtre pour certains Dinoflagellés.

- Spectre pollinique du prélèvement n°1198 (US 1005.9) – provenant du comblement du puisard F1005. Comblement postérieur au début du IIIe siècle ap. J.-C.

209 pollens ont été analysés pour ce prélèvement montrant une composition pollinique peu diversifiée (22 taxons). Des conservations différentielles, indiquées par la sur-représentation des pollens de Cichorioïdées, montrent qu'il manque très probablement une partie des pollens les moins résistants. La composition pollinique est donc lacunaire, toutefois il est possible de reconnaître les principales formations végétales.

La proportion des pollens d'arbres représente environ 23% (seulement) des pollens (Fig. 8) ce qui est en règle générale caractéristique de paysages ouverts. Il faut toutefois considérer ce résultat avec précaution compte tenu de la sur-représentation des pollens de Cichorioïdées (environ 60 % des pollens !). On peut supposer que les forêts et boisements devaient donc tout de même être assez présents dans le paysage.

Notons aussi que le contexte de piégeage des pollens, en puits, favorise plutôt un dépôt par ruissellement plutôt que par voie aérienne. Les végétations régionales (ex. les forêts notamment) sont donc potentiellement moins bien représentées que les végétations locales.

Les pollens d'arbres correspondent surtout à des grains de chêne (*Quercus sp.*). De nombreux fragments et pollens de résineux (dont pin), probablement d'origines plus ou moins lointaines ont aussi été observés.

Plus ponctuellement, quelques pollens de noisetier (*Corylus avellana*) et d'aulne (*Alnus sp.*) sont également identifiés.

Les pollens de chêne, de noisetier pourraient provenir de **boisements forestiers, plutôt clairs** assez éloignés **ou de haies, d'arbres isolés** ponctuant le paysage local.

Des boisements hygrophiles sont perçus par l'intermédiaire de pollens d'aulne (quelques occurrences). Notons que le noisetier a pu participer à ces boisements humides.

Les compositions polliniques correspondant aux végétations herbacées sont dominées par les pollens de Cichorioïdées (« sur-représentés » avec près de 60%), les Poacées (environ 10%).

Les associations polliniques en présence permettent d'interpréter les groupements de **prairies hygro- à mésophiles pâturées** (Poaceae, Cyperaceae, Asteraceae, *Centaurea type nigra*, Ranunculaceae, *Alchemilla sp.*, Valerianaceae) et les groupements de **friches et de jachères** (Poaceae, Asteraceae, Cichorioïdeae, Caryophyllaceae, *Polygonum sp.*, Urticaceae).

Aucun pollen de céréale n'a pu être observé dans ce prélèvement.

L'observation d'assez nombreux spores monolètes, de spores trilètes, (fougères et mousses) mais aussi de spores de *Polypodium sp.* est difficilement interprétable (Figures 7 et 8). Ces spores pourraient provenir de mousses et de fougères situées à proximité, voire à l'intérieur du puits.

Enfin, quelques micro-charbons, phytolithes et microfossiles non polliniques sont à noter, notamment des « amérospores du type HdV-207 » (genre *Glomus*, parasite de plantes herbacées), des spores algales de type HdV-181, et quelques occurrences de dinoflagellés et concentricystes caractéristiques de conditions ennoyées.

4. SYNTHÈSE

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

L'analyse complète des quatre prélèvements permet d'obtenir des concentrations polliniques hétérogènes (de 4000 à 16000 pollens / mL) avec des diversités intéressantes puisqu'une quarantaine de taxons sporo-polliniques a été observée pour l'ensemble des quatre prélèvements. Pour les prélèvements n°2303 et n°2307 les analyses ont permis d'obtenir des concentrations et des diversités satisfaisantes. Elles sont plus faibles pour les prélèvements n°2306 et n°1198. Ces deux prélèvements ont néanmoins été analysés car leurs contextes de prélèvement présentaient un intérêt de compréhension du site (notamment pour le puits cuvelé F1005 associé à d'autres artefacts archéologiques).

On note cependant pour l'ensemble des quatre prélèvements des conservations différentielles assez importantes avec une sur-représentation très nette des pollens de Cichorioïdées et spores monolètes, taxons particulièrement résistants. Ces conservations différentielles montrent qu'une partie des pollens, les plus fragiles, a probablement disparu. Elles affectent aussi le calcul des fréquences polliniques. Les taux de pollens d'arbres, oscillant aux environs de 20% sont de faits sous-évalués. Les paysages antiques devaient être plus « boisés » que ce que sous-entendent les faibles proportions (environ 20%) de pollens d'arbres (Fig. 6).

Identifiants prélèvements		PR 2306 - F2207, US 2207.8	PR 2303 - F2207, US 2207.5	PR 2307 - F2207, US 2207.6	PR 1198 – F1005, US 1005.9
Type de structure		Puits F2207			Puits F1005
Périodes de comblement		Milieu du IIe au milieu du IIIe siècle, rebouchage estimé fin IIIe – courant IVe siècle ap. J.-C.			Postérieur au début du IIIe siècle ap. J.-C.
Taux de pollen d'arbres (AP)		18,00%	28,00%	24,00%	23,00%
Boisements	Chênaie mixte	+	++	++	+
	Chênaie-hêtraie	-	++	++	+
	Boisements clairs, haies	+	+	+	-
	Boisements hygrophiles	+	+	+	+
	Résineux	+	+	+	-
	Taux de pollens d'orme	+	++	+++	-
	Taux de pollens de chêne	++	++	+	-
Végétations herbacées	Prairies hygro- à mésophiles pâturées	+	++	++	+
	Communautés rudérales, chemins, pacages, habitats...	+	++	-	+
	Landes	-	+	+	-
	Friches et jachères	++	++	++	+++
	Cultures (types)	-	+ (céréale)	++ (céréale, vigne)	-
Zones Humides	Zones humides en voie d'atterrissement	+	+	+	-
	Zones inondées peu profondes	-	-	++	-
	Zones inondées profondes	-	+	-	+

Figure 6. Tableau synthétisant les principales caractéristiques et principaux groupements végétaux identifiés dans les quatre prélèvements.

Les deux comblements de puits sont sensiblement contemporains. Les deux ensembles polliniques, y compris pour les trois échantillons du puits F2207 prélevés en stratigraphie n'ont pas permis de discerner de différences paysagères majeures.

En ce qui concerne les boisements, les résultats polliniques laissent percevoir des forêts de chênaies-hêtraies et/ou chênaies mixtes. L'analyse des trois spectres polliniques du puits F2207 montre que ces boisements sont tout d'abord dominés par l'orme qui disparaît peu à peu pour laisser place au chêne. Nous avons suggéré

l'hypothèse d'un assèchement voire d'un défrichement d'une zone alluviale... Il s'agit probablement d'un phénomène assez local. L'orme n'est pas enregistré dans le prélèvement du puits F1005.

En ce qui concerne les végétations herbacées, des groupements végétaux de friches et jachères, de prairies plus ou moins humides et de communautés rudérales (chemins, habitats, lieux de pacages) sont régulièrement interprétés (Fig. 6).

Quelques pollens de boisements humides et de plantes aquatiques ont aussi régulièrement été identifiés.

Des cultures de céréales sont détectées par l'intermédiaire des prélèvements n°2303 et n°2307 à l'intérieur du comblement du puits F2207. A noter aussi l'observation d'un pollen de vigne (*Vitis sp.*) à l'intérieur du prélèvement n°2307. Son origine, sauvage ou cultivé, reste en suspens.

5. BIBLIOGRAPHIE

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

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

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

CUGNY C., 2011 - Apport des microfossiles non-polliniques à l'histoire du pastoralisme sur le versant nord pyrénéen. Entre référentiels actuels et reconstitution du passé. Thèse de doctorat, Université Toulouse 2 Le Mirail, 2 vol., 373 p.

HEIM J., 1970 - Les relations entre les spectres polliniques récents et la végétation actuelle en Europe occidentale. Thèse, Université de Louvain, Laboratoire de Palynologie et Phytosociologie, 181 p.

GAUDIN L., 2004 - *Les transformations spatio-temporelles de la végétation du nord-ouest de la France depuis la fin de la dernière glaciation. Reconstitutions paléo-paysagères*. Thèse de doctorat, Université de Rennes 1, 2 tomes, 768 p.

GAUDIN L., 2024 - Tests palynologiques de 10 prélèvements réalisés lors de l'opération du site de l'A79-D15b5 nord à Toulon-sur-Allier (03). Puits antiques et paléochenal. Opération : OA 038938. Mai 2024. 18p. (Destinataire public : Service d'Archéologie Préventive du Département de l'Allier, RO. M. S. Baraton).

LOPEZ SAEZ J.-A., LOPEZ GARCIA P. et BURJACHS F., 2003 - Arqueopalinologia : sintesis critica. *Polen* 12, p. 5-35.

OUGUERRAM A., 2002 - Histoire de la vallée de l'Erdre (affluent de la Loire, Massif armoricain, France) de la fin du Tardiglaciaire aux époques actuelles. Thèse de doctorat, Université de Moulay Ismaïl de Meknès (Maroc), Editions Groupe d'Etude des Milieux Naturels, 121 p., 24 Figures.

MAZIER F., GAILLARD M. J., KUNEŠ P., SUGITA S., TRONDMAN A. K., BROSTRÖM A., 2012 - Testing the effect of site selection and parameter setting on REVEALS-model estimates of plant abundance using the Czech Quaternary Palynological Database." *Review of Palaeobotany and Palynology* no. 187 p. 38-49. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.revpalbo.2012.07.017>.

MARGUERIE D., 1992 - *Évolution de la végétation sous l'impact humain en Armorique du Néolithique aux périodes historiques*. Travaux du Laboratoire d'Anthropologie de Rennes, n°40, 262 p.

PLANCHAIS N., 1971 - *Histoire de la végétation post-würmienne des plaines du bassin de la Loire, d'après l'analyse pollinique*. Thèse d'Etat, Montpellier, 2 vol., 115 p.

REILLE M., 1990 - Leçon de palynologie et d'analyse pollinique. CNRS, Paris, 206 pages.

REILLE M., 1992 - *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord.*, Editions Louis-Jean, Gap, 520 p.

STOCKMARR J., 1972 – Tablets with spores used in absolute pollen analysis. *Pollens et spores*, 13, p. 615-621.

VAN GEEL B., APTROOT A., 2006 – Fossil Ascomycetes in Quaternary deposits. *Nov Hedw*, 82, p. 313-329.

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

VOELTZEL D., 1987 - Recherches pollenanalytiques sur la végétation holocène de la plaine alluviale de l'estuaire de la Loire et des coteaux environnants. Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille III, Laboratoire d'Ecologie et de Phytogéographie Faculté des Sciences et des Techniques, Nantes, 178 p.

6. FIGURES

Taxons \ Code Prélèvements		PR 2306 - F2207, US 2207.8	PR 2303 - F2207, US 2207.5	PR 2307 - F2207, US 2207.6	PR 1198 - F1005, US 1005.9
Pollens	Frag. Résineux	4	12	18	18
	Abies	0	1	0	0
	Pinus	4	5	6	1
	Quercus	16	51	7	25
	Ulmus	3	18	35	0
	Fagus	0	3	1	0
	Corylus	3	9	2	1
	Alnus	2	5	2	2
	Populus	0	1	0	0
	Vitis	0	0	1	0
	Hedera	0	1	0	0
	POACEAE	26	80	36	22
	CICHORIOIDEAE	99	142	136	119
	ASTERACEAE	2	5	6	1
	Artemisia	0	5	0	0
	CARYOPHYLACEAE	4	2	2	1
	CHENOPODIACEAE	5	6	7	0
	BRASSICACEAE	0	1	1	1
	Polygonum	0	1	1	1
	Plantago	2	6	9	0
	Plantago lanceolata	0	1	1	0
	URTICACEAE	1	3	3	1
	ERICACEAE	0	0	1	0
	Calluna	0	1	0	0
	Cerealia type	0	3	1	0
	Rumex	0	0	1	0
	Centaurea type nigra	1	4	5	3
	Centaurea type jacea	0	1	0	0
	Centaurea type cyanus	0	2	1	0
	RANUNCULACEAE	0	0	0	3
Spores	Alchemilla	0	0	4	3
	VALERIANACEAE	1	0	1	2
	CYPERACEAE	4	7	13	4
	Typha latifolia	0	0	1	0
	Potamogeton	0	1	0	0
	Pteridium	0	0	1	0
	Spore monolète	131	186	185	149
	Polypodium	0	0	0	1
Spore trilète	6	8	11	5	
Microfossiles Non polliniques	Phytolithe	0	0	1	3
	Concentricyste	3	0	0	1
	Dinoflagellé	2	10	0	1
	Amérospores – HdV-207	16	62	18	13
	Amérospores – HdV-27	1	0	5	0
	Spores algales et supposées – HdV-181	3	10	0	25
	Microrestes colorés – TM-318	0	0	0	0
	Micro-charbons	109	186	25	64
	Indéterminés	1	2	2	0
	SOM. pollen (somme de base)	177	377	302	209
SOM. Sporo-pollinique	314	571	500	367	
CONC. ABS Pollen (nb / cm3)	3843	15774	7728	4605	
CONC. ABS Pollen et Spores (nb / cm3)	6818	23892	12795	8086	

Figure 7. Opération archéologique OA 038938 de la commune de Toulon-sur-Allier (03). Comptages correspondant aux pollens, spores et quelques autres types de fossiles non polliniques déterminés. Les valeurs grisées correspondent à des sommes polliniques, sommes sporo-polliniques et pour les deux dernières lignes à des concentrations absolues de pollens et de spores + pollens. Les concentrations absolues sont exprimées en nombre de grains par mL de sédiment.

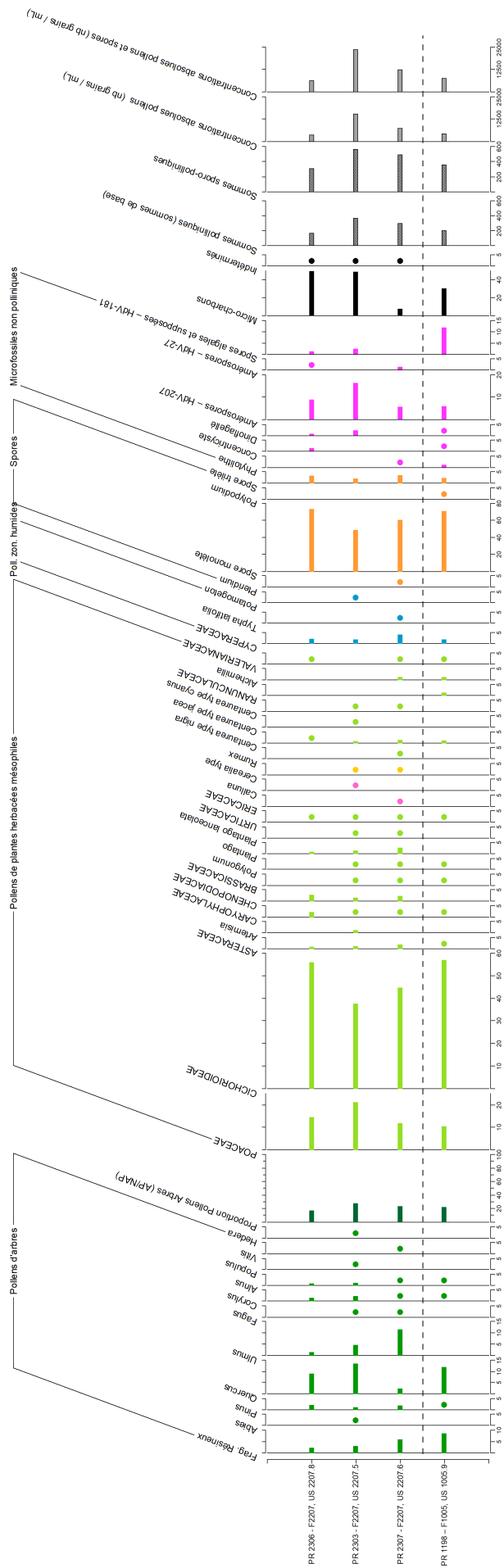


Figure 8. Diagramme sporo-pollinique de l'opération archéologique OA 038938 de la commune de Toulon-sur-Allier (03). Les trois prélèvements PR2306, PR2303, PR2307 appartiennent à la même structure (F2207). Les valeurs sont exprimées en fréquences relatives (%). La somme de base utilisée pour calculer les fréquences correspond à la somme des grains de pollens. Les spores ont donc été exclus de cette somme de base. La courbe (PA/PNA) correspond au rapport entre pollens d'arbres (PA)/ pollens non arborescents (PNA). Les valeurs inférieures à 1% sont symbolisées par des points. Les concentrations absolues sont exprimées en nombre de grains / mL de sédiment.

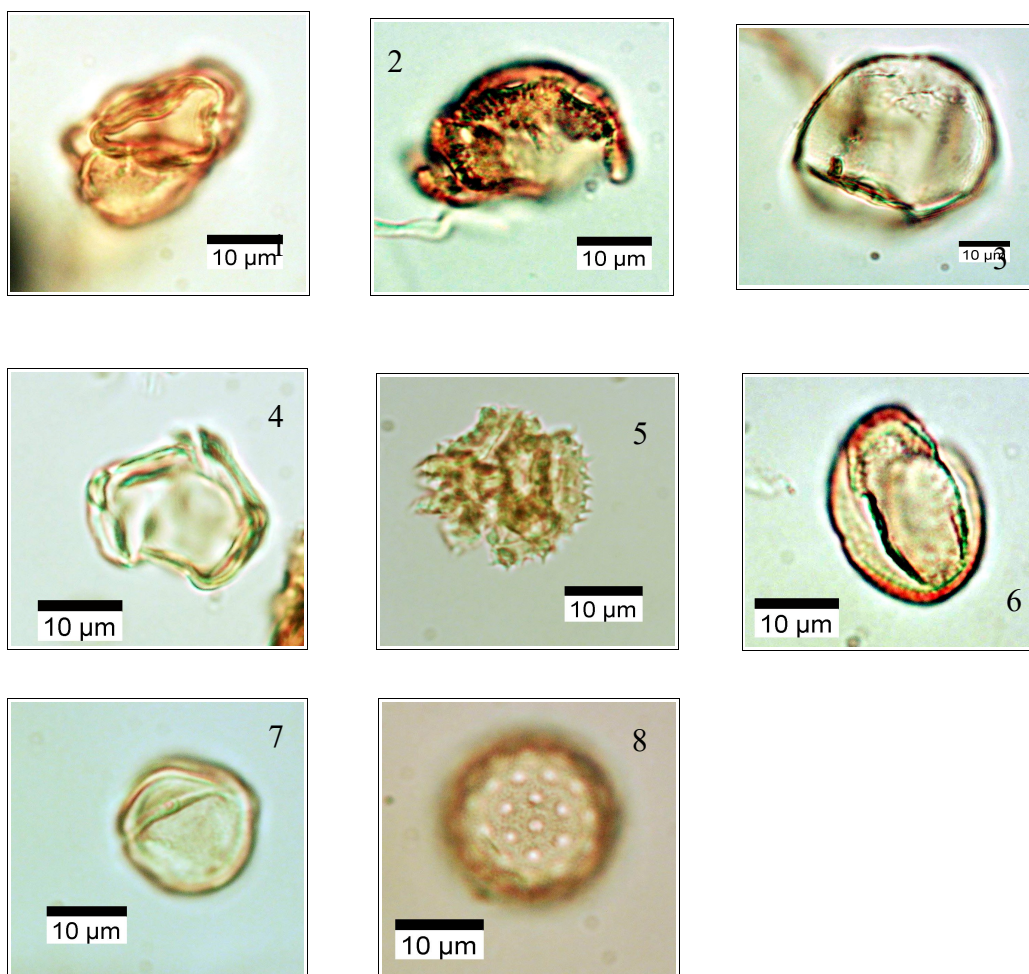


Figure 9. Photographies de pollens sous microscope optique à immersion, grossissement x1000. Les échelles représentent des micromètres. 1. Pollen d'Ericacée (famille de la bruyère) (Plv 2307) ; 2. Pollen de Caryophyllaceae (Plv 2307) ; 3. Pollen de céréale (*Cerealia type*), (Plv 2307) ; 4. Pollen d'aulne (Plv 2307) ; 5. Pollen de Cichorioïdées (Plv 2307) ; 6. Pollen de chêne (*Quercus sp.*) (Plv 2307) ; 7. Pollen de vigne (*Vitis sp.*) (Plv 2307) ; 8. Pollen de Chénopodiacee (Plv 2307).

Code des prélèvements	Nombre de pollens comptés	Nombre de spores comptés	de et Lycopodes introduits comptés	Concentration absolue pollen et spores	Concentration absolue pollen uniquement	Etat de conservation	Diversité taxonomique
PR 2306 - F2207, US 2207.8	177	314	264	6818	3843	Moyen	18
PR 2303 - F2207, US 2207.5	377	571	137	23892	15774	Bon	30
PR 2307 - F2207, US 2207.6	302	500	168	12795	7728	Bon	31
PR 1198 - F1005, US 1005.9	209	367	223	8086	4605	Mauvais	22

Figure 10. Opération archéologique OA 038938 de la commune de Toulon-sur-Allier (03). Analyse complète sur quatre prélèvements retenus : nombre de pollens et de spores comptés, nombre de grains par mL sédiment, diversité taxonomique.

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

Figure 11. Tableau récapitulatif des valeurs moyennes des productions polliniques européens et des vitesses de chute dans l'air des grains de pollen des taxons étudiés (d'après Mazier *et al.*, 2012).

Taxons \ Code Prélèvements	PR 2303 - F2207, US 2207.5	PR 2307 - F2207, US 2207.6	PR 2305 - F2207, US 2207.7	PR 2306 - F2207, US 2207.8	PR 2128 - F2018, US 2018.4	PR 2238 - F2018, SD5, US 2018.10,	F3009, SD1, US 3009.2	PR 1475 - F1268, US 1268-11/8	PR 1198 - F1005, US 1005.9	US 4069
Frag. Gymnosperme	2	4	2	1	0	0	2	1	4	8
Pinus	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0
Quercus	5	3	0	0	0	0	0	0	6	0
Ulmus	4	10	0	2	0	0	0	0	0	0
Fagus	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Corylus	5	1	0	0	0	3	0	0	0	0
Alnus	1	1	0	1	0	2	0	0	0	0
Hedera	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POACEAE	19	12	1	6	0	1	0	0	5	0
CICHERIOIDEAE	27	34	2	26	1	3	0	13	22	0
ASTERACEAE	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0
Artemisia	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CARYOPHYLLACEAE	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0
CHENOPODIACEAE	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0
Polygonum sp.	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Plantago	3	4	0	2	0	1	0	0	0	0
URTICACEAE	2	2	0	1	0	0	0	0	0	0
Cerealia type	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Centaurea type nigra	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Centaurea type jacea/nigra	1	3	0	0	0	0	0	0	3	2
RANUNCULACEAE	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
Alchemilla	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
CYPERACEAE	2	8	0	0	0	0	0	0	1	0
POLYPODIACEAE	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Pteridium	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Spore monolète	53	58	8	43	3	10	13	27	57	6
Spore trilète	2	2	0	4	0	0	0	0	0	0
Concentricyste	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Améropores – HdV-207	4	1	1	7	3	1	6	1	4	1
Améropores – HdV-27	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
Spores algales et supposées – HdV-181	2	0	0	1	1	0	2	0	4	0
Dinoflagellés	4	0	0	2	0	0	0	0	1	0
Micro-charbons	3	0	25	8	30	51	7	19	5	14
SOM. pollen (somme de base)	77	91	6	44	1	10	2	14	46	10
SOM. Sporo-pollinique	132	152	14	91	4	20	15	41	104	16
CONC. ABS Pollen (nb / cm3)	17656	8892	318	2272	69	412	81	795	3373	1062
CONC. ABS Pollen et Spores (nb / cm3)	30267	14852	743	4699	275	825	604	2327	7627	1698

Figure 12. Opération archéologique OA 038938 de la commune de Toulon-sur-Allier (03). Résultats des tests palynologiques. Comptages des pollens et spores déterminés (extrait de Gaudin, 2024)

7. ANNEXE

7.1. Détail du protocole d'extraction utilisé :

Afin d'isoler et de concentrer les grains de pollen, le protocole utilisé au sein de l'UMR EPOC comporte les étapes suivantes :

Préparation du sédiment

1- Le sédiment (environ 5g) est séché à l'étuve à 40°C pendant une nuit ou plus, suivant la teneur en eau.

Estimation du volume de sédiment

2- Dans une éprouvette de 25cc en polypropylène, mettre 15cc d'eau distillée. Poser celle-ci sur une balance, faire la tare, puis ajouter le sédiment. La colonne d'eau augmente, enregistrer le poids ainsi que le volume.

Lavage du sédiment

Ce lavage permet de travailler sur deux proxies. La fraction supérieure est récupérée pour, en particulier, l'étude des foraminifères, et la fraction inférieure pour l'étude des pollens et dinoflagellés.

3- Prendre un tamis de maille 150µm et de diamètre 10cm, le poser sur un bécher de 1000ml. Vider le contenu de l'éprouvette sur le tamis, et laver délicatement à l'eau du robinet. Lorsque le résidu > à 150µm est propre, bien le rincer à l'eau distillée et le récupérer dans une coupelle toujours avec de l'eau distillée. La fraction inférieure récupérée dans le bécher est mise à décanter pendant 48h minimum. Ne pas oublier de couvrir les bécher pour éviter toute pollution.

Attaque à l'acide chlorhydrique (HCl)

Cette attaque permet d'éliminer tous les organismes et particules calcaires.

4- Aspirer l'eau à l'aide d'une trompe à vide. Celle-ci est équipée, à l'extrémité du tuyau, d'un embout en plastique présentant un angle de 90° par rapport à la paroi du bécher. Cet embout permet d'éviter toute aspiration accidentelle du résidu décanté au fond du bécher. Récupérer le résidu dans un tube de 100ml à fond rond en polypropylène.

5- Centrifuger 7mn à 2500tr/mn. Eliminer l'eau, remettre en suspension avec l'agitateur. Mettre une ou deux pastilles de Lycopodes dans le tube, le nombre de pastilles étant défini en fonction de la concentration supposée en pollen ou en dinoflagellés. Elles permettent d'estimer les concentrations en palynomorphes.

6- L'attaque à l'HCl à **froid** se fait en trois étapes. Une première attaque à **10%**, remuer à l'aide d'une baguette d'agitation en verre, laisser agir quelques minutes, si le sédiment est riche en carbonates il est important de commencer par l'HCl à faible concentration afin d'éviter une importante effervescence et également un débordement des tubes. Continuer par de l'HCl à **25%** attendre quelques minutes et terminer par de l'HCl à **50%**. Cette dernière attaque est essentielle pour la suite de la manipulation. Bien s'assurer que la réaction est terminée en ajoutant de l'HCl à 50%. Lorsqu'il n'y a plus d'effervescence dans le tube, la réaction est terminée.

Attaque à l'acide fluorhydrique (HF)

Cette attaque permet d'éliminer la silice et les silicates.

7- Centrifuger les tubes de 100ml pendant 7mn à 2500tr/mn et éliminer le surnageant. Remettre le culot en suspension avec l'agitateur, puis mettre environ 40 à 50cc d'HF à **45% à froid**. Fermer les tubes avec le bouchon approprié et les poser sur le secoueur, laisser agiter pendant 4 à 5h. Bien respecter la concentration de l'HF, car une concentration supérieure peut entraîner une forte effervescence, avec risque de perte de sédiment.

8- Centrifuger à nouveau les tubes, 7mn à 2500tr/mn, éliminer le surnageant. Remettre en suspension avec l'agitateur, puis mettre environ 40 à 50cc d'HF à **70% à froid**. Poser les tubes sur le secoueur, laisser agiter pendant **28 à 30h**.

Note : Attention pour faire cette manipulation il est impératif de respecter les mesures de sécurité, mettre des longs gants, ainsi que des lunettes. Travailler toujours sous hotte aspirante bien fermée. Travailler également les tubes toujours fermés.

Deuxième attaque à l'acide chlorhydrique (HCl)

Elimination des fluorosilicates.

9- Centrifuger les tubes, 7mn à 2500tr/mn, éliminer le surnageant. Remettre en suspension avec l'agitateur, puis mettre environ 40 à 50cc d'HCL à **25% à froid**. Poser les tubes sur le secoueur, laisser agiter pendant 15mn.

Note : Il est très important de faire cette attaque à l'HCl avant de rincer à l'eau distillée. Des risques de formation de fluorures peuvent avoir lieu et donc gêner le reste de la manipulation.

Rinçage

10- Centrifuger les tubes, 7mn à 2500tr/mn, éliminer le surnageant. Remettre en suspension le culot avec l'agitateur, remplir les tubes d'eau distillée. Centrifuger les tubes, 7mn à 2500tr/mn. Eliminer l'eau, les résidus sont prêts pour la filtration.

Filtration

Cette opération nécessite la mise en œuvre d'un système de filtration. Ce matériel est posé sur une fiole à vide de 2l reliée à une trompe à vide.

11- Remettre en suspension le culot avec l'agitateur et verser une partie ou la totalité du résidu, suivant la concentration, sur le filtre en nylon de maille 10µm. Rincer à l'eau distillée avec une pissette de 50ml. La contenance de la pissette est essentielle car elle permet de l'avoir bien en main et donc de presser suffisamment fort pour avoir un jet assez puissant pour la filtration. Lorsque cela colmate, mettre 20 à 40s d'ultrasons et rincer abondamment, en même temps, avec la pissette. Le succès de cette opération est basé sur la coordination entre les ultrasons et la pissette. Il est important de bien gérer le temps des ultrasons, car l'abus peut casser les microorganismes.

12- Récupérer le résidu, une fois bien lavé, avec la pissette dans un tube à fond conique de 50ml en polypropylène. Bien froisser le filtre entre les doigts pour décoller éventuellement les micro-organismes qui pourraient rester sur le filtre.

13- Centrifuger les tubes, 7mn à 2500tr/mn, éliminer le surnageant à l'aide de la trompe à vide munie de l'embout à 90°. Transvaser le résidu avec de l'eau distillée dans un tube

à fond conique de 8cc en plastique. Centrifuger les tubes, 7mn à 2500tr/mn, éliminer le surnageant toujours avec la trompe à vide. Le résidu est prêt pour le montage.

14 – En fonction du caractère organique du résidu il est parfois nécessaire d'effectuer un traitement supplémentaire au HNO₃ : Séparation du culot en 2 puis sur une moitié, attaque HNO₃ 2mn, filtration 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 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°	Coul (N,B,R,V)	Sol Exotique (lycopodes...)	Nombre grains	Num (1-8)	TRONCON	VOL	Poids sec	HCL	HF 48%	HF 70%
2780	N	lycopodes	17197	A1	PR 2307	4	8,498	x	x	x
2780	N	lycopodes	17197	A2	PR 2303	3	7,101	x	x	x
2780	N	lycopodes	17197	A3	PR 2305	3	7,199	x	x	x
2780	N	lycopodes	17197	A4	PR 2306	3	7,06	x	x	x
2780	N	lycopodes	17197	A5	US 4069	3	7,5	x	x	x
2780	N	lycopodes	17197	A6	PR 2238	3	7,678	x	x	x
2780	N	lycopodes	17197	A7	PR 3009	3,5	8,056	x	x	x
2780	N	lycopodes	17197	A8	PR 1475	3	7,711	x	x	x
2781	R	lycopodes	17197	A1	PR 1198	3,5	8,414	x	x	x
2781	R	lycopodes	17197	A2	PR 2128	2	4,724	x	x	x

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