amU
Aix Marseille Université

LIGNÉE TECHNIQUE OU L'ÉVOLUTION D'UN INSTRUMENT

#9 La sédimentologie en archéométrie

Parmi les disciplines utiles aux problématiques de l'archéologie, la sédimentologie en archéométrie occupe une place importante. Utilisée dans notre cas selon les approches géomorphologiques, la sédimentologie permet de reconstituerles milieux et leurs conditions bioclimatiques. L'archéométrie s'intéresse spécifiquement aux informations enregistrées par les objets anciens et archives environnementales de sites archéologiques, au travers de la mesure instrumentéede paramètres parfois invisibles comme la composition élémentaire d'un matériau.Ces disciplines conjuguées utilisent de nombreux outils en perpétuelle évolution.

Origines et évolutions des outils de la sédimentologie en archéométrie

L'étude des sédiments (« sédimentologie » dont le terme est utilisé pour la première fois par A.C. Trowbridge en 1925), et des objets archéologiques (inventée à la Renaissance) emprunte de nombreux chemins. Du terrain à la paillasse, de la physico-chimie à la géochimie, comprendre les environnements et sociétés du passé implique de multiples instrumentations, parfois directement issues du domaine industriel. Du simple tamis, dont l'origine remonte à l'Égypte antique, aux rayons X découverts en 1895 par le physicien allemand Wilhelm Röntgen, les outils et leurs applications dans le champ de l'archéologie ont aussi une longue histoire. Parmi la multitude d'approches et techniques dédiées à l'archéologie dans les domaines de la sédimentologie et de l'archéométrie, les analyses portant sur la nature et l'évolution des sédiments des séquences stratigraphiques et de leurs archéomatériaux (objets archéologiques, céramiques, lithiques et résidus sédimentaires ou organiques), sont peut-être les plus fréquentes. Taille, distribution et forme des grains, teneurs en matière organique, carbonates, couleur, PH, composition élémentaire, sont autant de paramètres qui comptent dans le décryptage d'un site archéologique et de son environnement. Les colonnes de tamis, bien que de plus en plus précises, sont progressivement accompagnées par de l'analyse des grains par taille d'image[1], les codes de couleurs sous forme de catalogue papier[2] cèdent leur place aux spectrocolorimètres[3], et les multiples manipulations chimiques sont suppléées par la spectrométrie (fluorescence des rayons X, diffraction des rayons X, plasma à couplage inductif, émission optique à plasma à couplage inductif) ou utilisent désormais des terminaux informatisés augmentant la précision des mesures et leur correction[4]. Vient ensuite la portabilité des instruments qui permet au scientifique d'effectuer des mesures directement sur le terrain à l'aide d'un matériel[5] à l'épreuve des milieux et des intempéries[6]. Le plateau technique Boost-PlaSédO dispose d'instruments ayant suivis ces sauts technologiques dont quelques exemples sont présentés ici.

[1] Analysette 28 Fritsch par exemple

[2] Munsell, Cayeux notamment

[3] Konika Minolta, Mettler Toledo, Hach, Hanna...

[4] Calcimètre FOG, pHmètre Mettler Toledo...

[5] pXRF, susceptibilité magnétique...

[6] Normes IP 67, IP 68...



Photo. 1 : Le granulométre par analyse de tailles d'image (Analysette 28 Fritsch) inventorié
Photo © Vincent OLLIVIER

Une première rupture technique dans la détermination des paramètres physiques

D'une approche au préalable fréquemment descriptive et qualitative, l'évolution des outils et méthodes d'analyses oriente peu à peu les recherches vers des solutions d'analyses quantitatives plus techniquement développées. Un des outils de base de la sédimentologie a sans aucun doute été **le tamis**, sous la forme de colonnes organisées selon les normes (multiples) de classification des grains. Vers 1772, Johannes Baptiste de Beunie « pratiquait le lavage des terres en faisant une mise en suspension des particules fines. Ce lavage lui permettait de séparer « le sable de l'argile[7] ». La quantification précise des catégories de particules selon leur taille date réellement du XIXe siècle. Le tamis en tant qu'outil est très ancien (Antiquité), mais le tamis pour **la granulométrie**[8], dans un contexte scientifique et industriel, s'est formalisé entre la fin du XIXe et le début du XXe siècle, avec l'apparition des premières normes de granulométrie (séries de tamis standardisés de différentes tailles comme celles de l'ASTM, de l'ISO, d'AFNOR ou de l'EN). Plusieurs outils plus modernes et comblant les limites de la méthode par tamisage sont ensuite apparus dans la seconde moitié du XXe siècle (centrifugeuse à disque ou en continu, Sedigraph, compteur de particules de type Coulter, granulomètre laser...). Parmi les outils considérés dans ce domaine comme offrant une rupture technique notable, **les analyseurs par taille d'image** (*photo 1 et fig. 1*)[9] figurent en bonne place. Ils permettent une visualisation des propriétés d'un sédiment grain par grain de manière non-destructrice et reproductible. La captation d'images dynamiques de l'échantillon (par caméras numériques haute résolution), ensuite traitées par des algorithmes, détermine les propriétés morphométriques des particules telles que la taille, la forme (convexe, concave, circulaire), l'aire, le périmètre, les diamètres[10]. Innovation récente par rapport au simple tamisage, de nouvelles normes de lecture et de compréhension des processus et dynamiques de transport des particules en milieux naturels ou sur sites archéologiques peuvent aujourd'hui être définies par cet outil.

[7] INRAE.fr

[8] La granulométrie a pour objet la mesure de la taille de particules élémentaires ou de grains.

[9] De type analysette 28, Fritsch, figure 1

[10] Féret, rapports d'aspect

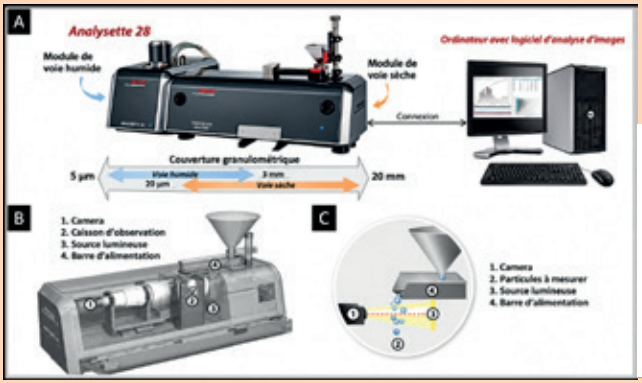


Figure 1 : Analyseur granulométrique par taille d'image (Analysette 28 Fritsch). A/ Vue externe avec les deux modules de mesures (voie humide et sèche) ; B/Vue interne du module de mesure par voie sèche
(source : Sirdeys, 2025) Photo © Vincent OLLIVIER

Seconde rupture technique : Mesure de la couleur des sédiments

D'autres voies d'évolutions techniques naviguant de la physique à la géochimie fournissent aussi des apports capitaux en sédimentologie et archéométrie. L'analyse du spectre électromagnétique révolutionne notre perception des couleurs des sédiments, roches et objets archéologiques. Remplaçant le document catalogue papier[11] laissant une trop grande part à l'interprétation, la spectrophotométrie de réflectance devient la nouvelle référence. Celle-ci, afin de donner l'aspect, la composition et l'évolution d'un objet ou sédiment, consiste à mesurer la lumière réfléchie par la surface d'un matériau soumis à une source lumineuse (flash).

L'appareil (portable, *Photo 2*) collecte ces informations, les intègre et les normalise par rapport à la source lumineuse induite. Les données brutes de réflectances sont converties en tristimulus (X, Y, Z) en se basant sur la relation linéaire qui lie les données d'analyses spectrales du rayonnement coloré et la perception de la couleur définie par la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE L*a*b* 1976[12]). Ces paramètres (L*a*b) représentent respectivement, la clarté, la valeur sur l'axe vert-rouge, la valeur sur l'axe bleu-jaune. Le signal brut de la réflectance mesuré pour chaque longueur d'onde donne la signature spectrale de la surface de l'échantillon.

[11] Nuancier Munsell de couleur des sols

[12] CIE L*a*b* 1976 : ces paramètres sont ceux des couleurs des objets



Photo 2 : Mesure de spectrophotométrie de réflectance (Konica Minolta CM-700d) sur échantillon – gros plan (2018)
Photo © Vincent OLLIVIER

Connaitre les éléments constituants de la matière est aussi primordial. Les analyses utilisant les rayons X (XRD, XRF, WD-XRF, ED-XRF...) sont parmi les plus adaptées. Dès les années 40 le XRF connait de premiers développements. La vraie révolution vient de la portabilité de tels dispositifs aux alentours de 1970. Mais c'est seulement depuis les années 2000 que la technologie XRF numérique permet une analyse en temps réel in situ (*photo 3*). Le concept de base de tous les spectromètres est constitué des éléments suivants : une source de rayonnement, un échantillon et un système de détection. Dans les spectromètres EDXRF identiques à celui de notre plateforme (Olympus Vanta C), le tube à rayons X, agit en tant que source, irradie directement l'échantillon, et la fluorescence provenant de l'échantillon est mesurée avec un détecteur à dispersion d'énergie. Ce détecteur mesure les différentes énergies du rayonnement caractéristique provenant directement de l'échantillon. Le détecteur peut distinguer le rayonnement de l'échantillon des rayonnements des différents éléments présents dans l'échantillon. Cette séparation est appelée dispersion.

Ces deux outils sont particulièrement décisifs pour l'étude des sites à l'accessibilité difficile (grotte Cosquer par exemple) et aux impératifs d'analyses non destructives. Ils constituent une évolution technique et méthodologique indéniable (*Fig.2*)



Photo 3 : pXRF Vanta C Olympus - (appareil portable de fluorescence de rayons X - Gros plan) – (2017)
Photo © Vincent OLLIVIER



Figure 2. À gauche, mesure de spectrophotométrie de réflectance (Konica Minolta CM-700d) sur échantillon. À droite, analyse géochimique élémentaire in situ d'un sédiment (pXRF Vanta C Olympus).
Photo © Vincent OLLIVIER

Vers une quatrième rupture technique ? Des voies complémentaires à la sédimentologie en archéométrie, inscrites dans l'innovation de haut niveau : biomarqueurs, isotopes, et ADN environnemental

La chimie organique, isotopique, ou encore l'ADN environnemental se tournent aujourd'hui aussi vers l'analyse des sédiments. Reposant sur des bases analytiques développées dès les années 70, les machines utilisées ne cessent de se moderniser. Ces outils analytiques, exemples de l'évolution technique, ne sont pas disponibles sur la plateforme du LAMPEA, mais des collaborations sur ces hautes expertises techniques sont effectives à l'échelle nationale et internationale. Biomarqueurs et isotopes permettent de reconstituer végétation, climat ou encore résidus d'utilisation d'objets archéologiques. Par exemple, la chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse (CPG-SM), qui permet de mesurer de nombreuses substances sur des quantité infimes, est passée de plusieurs minutes de durée de mesure d'un échantillon (années 70) à quelques secondes (années 2000) avec un dispositif de taille réduite, à l'usage simplifié et équipé de micro-ordinateurs performants. Il en est de même avec la spectrométrie infrarouge. Une innovation majeure réside également dans l'ADN environnemental, véritable moteur d'évolution méthodologique et technique. Les sauts technologiques visent à réduire le coût et le temps



Spectrométrie carbone (C) et oxygène (O), CEREGE, ANR WomenSOFar
photo © : CNRS Images, Cyril Fresillon

nécessaire pour le séquençage, en se basant sur la miniaturisation et le groupage parallèle des réactions dans des volumes très restreint. Les méthodes d'extraction et la limitation des contaminations possibles suivent également le chemin du perfectionnement technique. Plusieurs générations de séquenceurs se succèdent et se complètent (NGS Illumina, Ion Torrent, 3e génération Oxford Nanopore et PacBio…), permettant des analyses d'ADN environnemental de plus en plus précises et remontant sur des périodes plus anciennes (de quelques milliers d'années à au moins un million d'années) en fonctions des types et de la conservation des matériaux et sédiments.

La sédimentologie en archéométrie du plateau de Sédimentologie Opérationnel (PlaSédO) du LAMPEA (UMR7269) et ses outils techniques (notamment XRF, spectrocolorimétrie, granulométrie image sizing, susceptibilité magnétique et conductivité électrique) nous amène vers des approches intégrées sur les paysages, leurs évolutions et contextes (climats, végétations, dynamiques) en interaction avec les sociétés (impacts des activités anthropiques). Les représentations plus globales, sous forme de cartographies tridimensionnelles désormais de haute précision (imagerie : LIDAR[13] par ex.) ou de SIG[14] et modélisations sont aussi des aspects à forts progrès techniques évoluant de concert avec ceux de l'archéométrie.



Pesée de collagène sur microbalance pour analyses isotopiques, LAMPEA ANR WomenSOFar
photo © : CNRS Images, Cyril Fresillon

[13] LIDAR : laser imaging detection and ranging

[14] SIG : Système d'Information Géographique

LIGNÉE TECHNIQUE* OU L'ÉVOLUTION D'UN INSTRUMENT

*Définition d'une lignée technique :
« [...] les objets évoluent selon des « lignées », c'est à dire des ensembles regroupant les objets de même type, ayant même fonction et même principe de fonctionnement ».
Bruno JACOMY

Cette plaquette s'inscrit dans un projet d'inventaire et de valorisation du patrimoine scientifique, technique et contemporain d'Aix-Marseille Université.

Contact :
Culture et Patrimoine Scientifique
Direction de la Recherche et de la Valorisation
3 place Victor Hugo
13003 Marseille
corine.levy-battesti@univ-amu.fr
+33(0)4 13 94 97 29

Conception graphique : DIRCOM amU | octobre 2026 IR

Cette plaquette a été réalisée en partenariat avec le Laboratoire Méditerranéen de Préhistoire Europe-Afrique (LAMPEA)

Auteurs du livret :
Dr Vincent Ollivier, Ingénieur de Recherche CNRS, BAP A (Sciences du vivant, de la Terre et de l'environnement) Géomorphologie

Intervenants scientifiques :
Doriane Delanghe PhD, responsable de plateforme en Sédimentologie et du pôle PECAN, de Préparation et de CAractérisation des Archives Naturelles du CEREGE, Institut OSU-Pythéas, amU
Benoît Devillers : Géomorphologue, Géoarchéologue, Professeur des universités, Université de Montpellier Paul-Valéry.
Olivier Bellier, Vice-Président Science et Société d'amU (Culture et Patrimoine Scientifique)

Sur une idée de Corine Lévy Battesti, ingénieure d'étude, chargée de l'inventaire des instruments scientifiques d'amU.