



**HAL**  
open science

## **Introduction. Instrumentation portable: quels enjeux pour l'archéométrie ?**

Ludovic Bellot-Gurlet, Philippe Dillmann

### ► **To cite this version:**

Ludovic Bellot-Gurlet, Philippe Dillmann. Introduction. Instrumentation portable: quels enjeux pour l'archéométrie?. Benech C.; Cantin N.; Languille M. A.; Mazuy A.; Robinet L.; Zazzo A. Instrumentation portable: quels enjeux pour l'archéométrie?, Éditions des Archives Contemporaines, pp.i vii, 2019, collection "Sciences Archéologiques", 9782813003294. hal-02445233

**HAL Id: hal-02445233**

**<https://hal.science/hal-02445233>**

Submitted on 20 Jan 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Introduction

## Instrumentation portable : quels enjeux pour l'archéométrie ?

Ludovic Bellot-Gurlet<sup>1</sup> et Philippe Dillmann<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sorbonne Université, CNRS, UMR 8233  
De la Molécule aux Nano-objets : Réactivité, Interactions et Spectroscopies  
(MONARIS),  
Faculté des Sciences et Ingénierie,  
4 Place Jussieu, 75005 Paris, France

<sup>2</sup> LAPA-IRAMAT, NIMBE, CEA, CNRS,  
Université Paris-Saclay, CEA Saclay,  
91191 Gif-sur-Yvette, France

Bien que certaines approches instrumentales utilisées en archéologie impliquent par essence et depuis de longues années l'utilisation d'instruments de mesure portables (avec les mesures géophysiques, par exemple), les progrès technologiques ont depuis les années 2000 engendré une véritable explosion du nombre d'instruments permettant des mesures de plus en plus variées avec des dispositifs aux dimensions de plus en plus compactes et aux prix de plus en plus abordables. C'est notamment le cas pour la méthode d'analyse par Fluorescence X, mais pas uniquement (on pense également aux spectroscopies UV-Visible, Infrarouge, Raman, au LIBS, etc.). L'augmentation des publications sur le sujet dans les revues d'archéométrie nationales et internationales témoigne de cet engouement. Ainsi, l'apparente facilité d'utilisation et la démocratisation de l'accès à ces instruments « prêts à l'emploi » ont conduit à leur appropriation par un public de plus en plus varié, dépassant largement la communauté des spécialistes de l'analyse. Cette popularisation de l'analyse amène plusieurs questionnements voire quelques polémiques liés à la « qualité » ou la finalité des données obtenues par ces instruments portables. Faut-il laisser des instruments produisant des données facilement interprétables aux mains de non spécialistes ? Au contraire, devrait-on profiter de ces instruments pour provoquer une nouvelle ère de moisson massive de données, y compris sur le terrain ? L'heure était venue de faire un état des lieux prospectif, réunissant l'ensemble des acteurs touchant à l'archéométrie. C'est la raison pour laquelle,

en 2016, le réseau CAI-RN<sup>1</sup>, par son groupe de travail « techniques et savoir-faire de l'archéométrie » a organisé une journée thématique sur le sujet. Celle-ci s'est articulée autour d'une sélection de présentations orales et d'une table-ronde intitulée « Avec nos instruments portables sur sites et en musées : quelles évolutions de nos pratiques ? Quels effets sur nos recherches ? », enrichie de témoignages variés. Au vu du succès de la journée, de la qualité des communications et de la richesse des échanges lors de la table ronde, il a été décidé de publier un ouvrage sur le sujet dans la collection « Sciences Archéologiques ». Comme les autres volumes de cette collection, cet ouvrage s'adresse à nos communautés dans toute leur richesse interdisciplinaire : des spécialistes de l'analyse aux utilisateurs avertis ou non, issus des sciences humaines ou de la conservation-restauration.

Les activités couvertes par l'archéométrie et les sciences de la conservation sont extrêmement diversifiées. Les « techniques portables » qui y sont utilisées sont aussi très diverses ; que ce soit du point de vue de leurs principes de fonctionnement, des technologies associées aux instruments, ou encore de la « maturité » des usages qui en sont faits. Cet ouvrage ne prétend pas être exhaustif, que ce soit à propos des techniques elles-mêmes, ou de leurs champs d'application. Il s'agit surtout d'offrir un aperçu varié des méthodes, plus ou moins déjà largement utilisées dans nos domaines, et de donner des exemples de mise en œuvre, sous la forme de cas d'étude ou de synthèses plus larges.

## Des technologies et des usages

Les techniques d'analyse issues de la miniaturisation des instruments sont recherchées dans de nombreux champs d'application. Ces champs couvrent des usages implicites, comme l'exploration spatiale, sous-marine, etc. ou des domaines pour lesquels la possibilité de décupler les mesures ouvre de nouveaux horizons, comme la sécurité, le contrôle qualité dans l'industrie, etc. Les domaines d'applications concernés par l'archéométrie constituent également un terrain favorable pour le développement de ces usages et les raisons de cet engouement pour les techniques portables sont multiples.

En effet, nombre de nos objets d'étude, en raison de leur taille, ne peuvent être déplacés vers le laboratoire (statuaire ; éléments en place dans les monuments, etc.) ou sont présents en trop grand nombre sur les sites archéologiques pour être transportés (roches, scories, etc.). Par ailleurs certains objets ou échantillons transportables ne peuvent être amenés au laboratoire pour d'autres raisons : sécurité pour les œuvres, coûts en termes d'assurance ou de transport, contraintes administratives diverses selon les pays (jusqu'aux interdictions de sortie du territoire des échantillons).

Un point important à prendre également en considération est que le recours à la réalisation de prélèvements, mêmes microscopiques, n'est pas toujours possible ou accepté vis-à-vis des objets du patrimoine. Ainsi, la démultiplication des usages des instruments de mesure portables est également liée à la combinaison entre portabilité et analyses non invasives associées à une apparente facilité d'utilisation.

---

1. Compétences Archéométriques Interdisciplinaires-Réseau National (<https://archeometrie.cnrs.fr/>), un réseau de la Mission pour les Initiatives Transverses et Interdisciplinaires du CNRS.

Les types d'utilisation en lien avec l'archéométrie ou les sciences de la conservation ne représentent pas un marché large pour lequel les concepteurs d'instruments pourraient être naturellement motivés à réaliser des développements spécifiques. Cependant les communautés concernées se sont rapidement saisies des nouveautés instrumentales commerciales en ayant même parfois développé ou contribué au développement d'assemblages/prototypes spécifiques pour chercher des réponses à leurs problématiques de mesure, quitte à parfois détourner ou étendre les usages initiaux des dispositifs commerciaux.

## Des mesures dans la main, clef en main ?

Bien qu'ayant des attraits séduisants, ces mesures portables possèdent des limites/contraintes de différentes natures qu'il faut prendre en compte et chercher à maîtriser ; étant entendu que selon les techniques, ces difficultés peuvent être plus ou moins problématiques ou délicates à considérer.

Ces contraintes sont, d'une part, liées à un environnement « inhabituel » pour des mesures analytiques : un musée, des espaces de stockage, des monuments ou des sites archéologiques. Il s'agit de lieux généralement peu adaptés à la réalisation de ces mesures (pouvant être perturbées par : des lumières, poussières, vibrations, manques d'espace, ...) ou tributaires des aléas météorologiques (en extérieur) et où il est aussi nécessaire d'assurer la sécurité des objets et des personnes. Même si nombre d'appareils sont équipés de batteries, pour d'autres, les alimentations électriques nécessaires peuvent nécessiter de déployer un groupe électrogène et/ou de longues rallonges électriques. Par ailleurs, pour les déplacements qui impliquent un transport aérien, les solutions en énergie autonomes sont maintenant inconciliables avec les réglementations qui prescrivent les batteries de fortes capacités. Ces accès « au terrain » impliquent aussi des temps contraints pour ces campagnes de mesure et donc le besoin de gérer « à chaud » des aléas souvent inédits dont la gestion bénéficie de l'expérience des opérateurs avertis mais dont les spécificités sont continuellement renouvelées en raison des situations rencontrées qui sont peu standardisées.

D'autre part, les limitations sont liées à l'instrumentation et aux compromis réalisés pour atteindre la portabilité. Les performances peuvent être dégradées, les instruments moins polyvalents, leur mise en œuvre moins bien contrôlée. Dans le cas de mesures localisées (comme les micro-analyses ou les balayages pour obtenir des cartographies) on peut aussi noter que les dispositifs destinés à positionner les instruments peuvent s'avérer être difficilement miniaturisables ou transportables.

Plus généralement, il s'agit très souvent d'aborder des objets tels qu'ils se présentent, sans préparation préalable. Ce sont alors les spécificités des approches non invasives, souvent circonscrites à sonder les surfaces, qui s'imposent. Les objets (ou certaines zones) ne sont pas toujours faciles à atteindre et leurs hétérogénéités à différentes échelles (du micromètre au multi-métrique) délicates à appréhender. Toutefois, tout en déployant des mesures mobiles certaines problématiques ou mesures nécessitent de préparer les échantillons (voir par exemple : Flaender *et al.*, 2019 ; Vega *et al.*, 2019). Ce sont alors les protocoles et instruments de préparation qu'il s'agit aussi de transporter et de rendre compatibles avec les contraintes du terrain et de la portabilité.

Par ailleurs, au-delà des obstacles déjà mentionnés, il est nécessaire de garder à l'esprit que « mesure portable » n'est pas un synonyme de « mesure simple ». Les protocoles analytiques permettant de garantir la fiabilité des résultats avec les instruments nomades et dans les conditions du terrain doivent faire l'objet de procédures de validation préétablies. Ces études peuvent prendre du temps et impliquent des allers-retours entre « instruments classiques de laboratoire » (aux résultats reconnus) et dispositifs mobiles sur des objets représentatifs. Ce sont aussi les expériences des opérateurs et des équipes qu'il s'agit de développer pour faire face aux mises en situation sur le terrain.

Quelles que soient les limites et contraintes inhérentes aux techniques portables, ces dernières ouvrent de nouvelles perspectives inédites à la recherche et inspirent des défis à l'interdisciplinarité. Ces mesures donnent accès à des problématiques nouvelles. Tout d'abord de par les objets qui peuvent ainsi être approchés et étudiés, l'impossible échantillonnage et transport au laboratoire n'étant plus un obstacle. Ensuite, la multiplication des mesures, des objets examinés, permet d'accéder à une représentativité des mesures et des études auparavant inaccessible et qui est nécessaire pour assurer les interprétations, voire, sur la base de quantités décuplées de données, pour faire évoluer les modèles interprétatifs. Comme ceci implique le développement de méthodologies spécifiques, adaptées à l'usage de ces nouveaux outils, les savoir-faire disciplinaires doivent résoudre de multiples défis, qu'ils soient au niveau des techniques de mesure, de la manipulation et l'interprétation des nombreuses données acquises, ou des questionnements qui sont renouvelés par les potentialités analytiques offertes. Au-delà, avec les spécificités des objets étudiés (hétérogénéités, dimensions, finesse des informations recherchées, ...) il est également possible d'imaginer un réinvestissement des savoirs acquis dans d'autres champs disciplinaires.

## Un voyage, des rencontres

Une des conséquences originales de la sortie des instruments de mesure des laboratoires est la possibilité de mettre diverses communautés en relation directe sur site, autour des objets d'étude eux-mêmes. En premier lieu, ceci permet ou provoque la rencontre de diverses pratiques et spécialités qui n'auraient pas forcément effectué spontanément la démarche d'aller sur « le terrain de l'autre ». De ce fait, la présence autour de l'objet et son analyse permet un échange immédiat entre divers spécialistes autour des données acquises et des problématiques abordées, parfois avec des rétroactions sur la façon de conduire les mesures ou d'affiner voire transformer les questions posées initialement. Ainsi, directement sur le site archéologique, des stratégies de prospection (géophysique, composition chimique, ...) peuvent être potentiellement réorientées le lendemain en fonction des résultats exploités le soir même. C'est par exemple ce qui est mis en œuvre pour les prospections autour des amas de scories sidérurgiques de l'empire Khmer présenté dans ce ouvrage (Vega *et al.*, 2019). Par ailleurs, les méthodes portables permettent également d'envisager un premier balayage analytique, parfois plus grossier que ce qui peut-être mis en œuvre en laboratoire, mais permettant une sélection adaptée d'un plus petit nombre d'échantillons représentatifs qui pourront être ensuite analysés plus finement au laboratoire.

## De la mesure agile à l'interprétation facile ?

Les techniques analytiques fournissent des données plus ou moins directement interprétables. Les progrès (augmentation des performances, diminution des volumes) des électroniques, des ordinateurs et des mémoires, sont en grande partie associées au développement de la portabilité des instruments de mesure. Au-delà, ces progrès impactent le développement et l'intégration de logiciels dans les instruments de mesure, mais également sur tablettes ou ordinateurs portables pour stocker et traiter les signaux mesurés et fournir rapidement une donnée interprétable (par exemple une quantification de la composition chimique en fluorescence X). Ceci décuple l'attrait et l'intérêt de la mise en œuvre de ces instruments, que l'on soit expert ou utilisateur des analyses.

Sans parler de la validation analytique de la mesure, disposer du résultat sur site pose la question des stratégies pour le rendre directement interprétable, ou pour élaborer les interprétations de celui-ci et les réponses aux questions posées le plus immédiatement possible après la mesure. Certaines questions peuvent avoir des réponses simples (par exemple quelle est la composition en éléments majeurs d'un alliage). Pour celles-ci, il est aujourd'hui possible de répondre directement sur site à l'issue de la mesure. A l'opposé, d'autres questions nécessitent des traitements/analyses des données plus importants, nécessitant des temps qu'il n'est pas jugé raisonnable de prendre sur site. C'est alors un choix (voire une obligation) de découpler les mesures engrangées sur site et les interprétations réalisées ensuite de retour au laboratoire.

Les pratiques dépendent fortement des techniques analytiques et des problématiques associées. Par exemple, s'il s'agit de réaliser des prospections géophysiques en parallèle de la fouille archéologique en vue d'orienter les stratégies de terrain, il est nécessaire de traiter les données le plus rapidement possible, en fin de journée par exemple, pour décider collectivement des orientations de travail pour le lendemain. Une situation intermédiaire est de réaliser un traitement à deux niveaux. Un premier, rapide et préliminaire, est réalisé directement sur site pour obtenir de premiers éléments permettant de valider la qualité des acquisitions et de contribuer à la démarche de terrain (comme orienter les lieux de mesure ou les objets sélectionnés). Le traitement approfondi est alors effectué ultérieurement en laboratoire, avec la possibilité d'adapter les méthodologies en fonction des situations et des résultats.

Afin d'élaborer une interprétation rapide des mesures, les progrès technologiques permettent de développer le recours massif aux algorithmes de modélisation ou d'analyse des données, ainsi que l'appel à des bases de données analytiques (qui souvent sont encore à élaborer). Cependant, par rapport à des applications dans le champ industriel, les situations rencontrées en archéométrie sont très rarement suffisamment normalisées. C'est-à-dire qu'elles sont peu adaptées à la mise en place de méthodologies d'automatisation numérique limitées à un champ restreint. Face à des instruments qui peuvent donner une valeur ou une interprétation « toute faite » il s'agit de conserver un regard critique et interdisciplinaire sur les données et les interprétations pour éviter d'éventuelles dérives.

Toutes ces situations sont fortement évolutives puisque de nombreux travaux sont consacrés à l'élaboration de nouvelles méthodologies/stratégies pour aborder les données, et que les méthodes mathématiques permettant d'assister les interprétations (analyses multivariées voire intelligence artificielle) sont actuellement en fort développement.

## Et maintenant ? et demain ?

Le succès et la rapide évolution des techniques d'analyse portable, ainsi que leur réception grandissante et enthousiaste dans le domaine de l'archéométrie imposait de réaliser cet ouvrage, destiné à être un jalon thématique et méthodologique dans ce paysage mouvant et en plein essor.

Ce bilan nous semblait d'autant plus nécessaire pour notre communauté du fait de sa grande variété disciplinaire. En effet, les nouvelles techniques portables et leur récents développements ouvrent la voie à des pratiques renouvelées, voire des changements de paradigmes, pour peu qu'elles soient utilisées à bon escient. Le revers de cette médaille est de produire des résultats trop fortement liés au contexte et non comparables entre eux. C'est la raison pour laquelle il nous semble qu'en plus d'être une ouverture vers la potentialité de nouvelles techniques sur les terrains archéologiques et muséaux (voir par exemple : Capitani *et al.*, 2019 ; Colas *et al.*, 2019 ; Evin *et al.*, 2019 ; Flaender *et al.*, 2019), cet ouvrage a pour but de sensibiliser son lecteur à la spécificité de la pratique et des stratégies analytiques liées à l'instrumentation portable, incluant les avantages et les risques qu'elles comportent.

Il n'en reste pas moins que les récents progrès des techniques portables, qui semblent encore devoir se développer dans le futur, sont de potentiels moteurs forts de la recherche en archéométrie et du dialogue entre les différentes disciplines concernées, du spécialiste de l'analyse physico-chimique à l'archéologue, en passant par le conservateur, le restaurateur et l'historien de l'art. Nous ne doutons pas que dans quelques années, ces développements et ces usages auront des conséquences épistémologiques majeures sur nos pratiques de la recherche, mais également sur la manière d'en interpréter les résultats et de construire des modèles. Il semble donc qu'un tel ouvrage soit appelé très probablement à être renouvelé dans les prochaines années, afin de maintenir vivaces et dynamiques les débats et les échanges contradictoires et constructifs autour de l'usage des techniques portables et des méthodologies analytiques et scientifiques qu'elles engendrent.

## Remerciements

Nous remercions Marie Balasse (Archéozoologie, Archéobotanique : sociétés, pratiques et environnements, UMR 7209 MNHN/CNRS) et Marie-Angélique Languille (Centre de Recherche sur la Conservation, USR 3224 MNHN/CNRS/Ministère de la Culture) pour leurs suggestions et la relecture critique de cette introduction.

## Références

Capitani C., Di Tullio V. et Proietti N. (2019) NMR techniques in Cultural Heritage, dans « Instrumentation portable. Quels enjeux pour l'archéométrie ? », collection « Sciences Archéologiques », Éditions des Archives Contemporaines, Paris, 157-176.

Colas E., Mertz J.-D., Lenormand R. et Ben Yahmed A. (2019) Évaluation d'une méthode de mesure in situ et non destructive de la perméabilité à l'air des matériaux poreux du patrimoine architectural bâti, *dans* « Instrumentation portable. Quels enjeux pour l'archéométrie ? », collection « Sciences Archéologiques », Éditions des Archives Contemporaines, Paris, 177-197.

Evin A., Pelletier M., Dortel A. et Daujat J. (2019) Photogrammétrie rapprochée, morphométrie géométrique et archéozoologie : une combinaison d'avenir ?, *dans* « Instrumentation portable. Quels enjeux pour l'archéométrie ? », collection « Sciences Archéologiques », Éditions des Archives Contemporaines, Paris, 81-96.

Flaender M., Plaire D., Boudadi-Maligne M., Mallye J.-B., Lambourdière J., Ventosa J., Den Dulk R., Bourdat A.-G. et Elalouf J.-M. (2019) Analyse de l'ADN pendant une campagne de fouilles. Application à l'étude de coprolithes d'un site du Paléolithique supérieur (grotte Malvidier, Dordogne, France), *dans* « Instrumentation portable. Quels enjeux pour l'archéométrie ? », collection « Sciences Archéologiques », Éditions des Archives Contemporaines, Paris, 265-282.

Vega E., Leroy S., Dillmann Ph., Pagès G., Hendrickson M. et Téreygeol F. (2019) L'analyse chimique des déchets sidérurgiques sur le terrain par pXRF. Un jeu d'échelle sous contraintes. *dans* « Instrumentation portable. Quels enjeux pour l'archéométrie ? », collection « Sciences Archéologiques », Éditions des Archives Contemporaines, Paris, 213-229.