Technè

La science au service de l'histoire de l'art et de la
préservation des biens culturels

44 | 2016

**Archives de l'humanité : les restes humains
patrimonialisés**

Analyses organiques de baumes de momies provenant du site d'Antinoé

Organic analyses of mummy balms from the Antinoé site

Juliette Langlois et Sandrine Pagès-Camagna

Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/technè/1034>

DOI : 10.4000/technè.1034

ISSN : 2534-5168

Éditeur

C2RMF

Édition imprimée

Date de publication : 1 novembre 2016

Pagination : 55-59

ISBN : 978-2-7118-6339-6

ISSN : 1254-7867

Référence électronique

Juliette Langlois et Sandrine Pagès-Camagna, « Analyses organiques de baumes de momies
provenant du site d'Antinoé », *Technè* [En ligne], 44 | 2016, mis en ligne le 19 décembre 2019, consulté
le 28 juillet 2020. URL : <http://journals.openedition.org/technè/1034> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/technè.1034>

La revue *Technè. La science au service de l'histoire de l'art et de la préservation des biens culturels* est
mise à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation
Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

Juliette Langlois
Sandrine Pagès-Camagna

Analyses organiques de baumes de momies provenant du site d'Antinoé

Organic analyses of mummy balms
from the Antinoé site

Résumé. L'étude des restes humains patrimonialisés, et plus particulièrement des momies égyptiennes, met en œuvre de multiples techniques scientifiques, telles que la radiographie et la tomographie X, la datation au carbone 14, la paléo-entomologie, la paléobotanique, la paléo-anthropologie, la paléo-anatomopathologie, l'étude des textiles et de la polychromie ou encore l'analyse des substances naturelles utilisées pour l'embaumement. Pour l'analyse des substances naturelles, la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC/MS) ne nécessite qu'une très faible quantité d'échantillon (de 100 µm à 250 µm) ; c'est une technique de choix pour l'identification des résines végétales, des cires d'abeille et des corps gras, souvent présents dans les matériaux d'embaumement.

Mots-clés. Baumes, momies, substances végétales, analyses chromatographiques.

Abstract. The study of human remains that have acquired heritage status, Egyptian mummies in particular, involves several scientific techniques, such as X-rays, computed tomography, carbon dating, paleoentomology, paleobotany, paleoanthropology, paleopathology, the study of textiles and polychromy, as well as the analysis of natural substances used in embalming. When analysing natural substances, gas chromatography, coupled with mass spectrometry (GC-MS), requires only a minute sample (100 µm-250 µm). This is an excellent technique for identifying plant resins, beeswaxes and fatty substances, often present in embalming materials.

Keywords. Balms, mummies, plant substances, chromatographic analyses.

À l'occasion d'une vaste étude lancée en 2010-2011 par le Service du Récolement des Dépôts antiques et des Arts de l'Islam du musée du Louvre, ces techniques ont été mises en œuvre au C2RMF sur un corpus de momies provenant du site d'Antinoé (Égypte) et sur certaines œuvres faisant l'objet d'un projet de restauration, comme les momies du musée Joseph-Denais de Beaufort-en-Vallée (fig. 1). Les résultats des analyses chromatographiques des substances identifiées sur ce corpus sont présentés dans le tableau 1 page 56.

Matières grasses

La présence de matière grasse d'origine animale est mise en évidence par les acides myristique, palmitique, stéarique et oléique, qui sont associés à des acides gras dont la chaîne comporte un nombre impair d'atomes de carbone (acides gras linéaires en C_{15:0} et C_{17:0}) et présente des ramifications (isomères iso et anteiso de la forme linéaire). Plusieurs isomères de position de l'acide gras C_{18:1} et la présence éventuelle de cholestérol ou de ses dérivés en sont également les témoins.

Les matières grasses animales et végétales altérées étant principalement constituées d'acides gras libres identiques, seuls des composés secondaires, comme les diacides ou les acides gras à nombre impair d'atomes de carbone, permettent d'orienter la nature de la substance grasse présente. Dans le cas d'un mélange de graisse animale et végétale altérée, il reste très difficile, au seul moyen de la GC/MS, d'évaluer la proportion et la nature exactes de l'un et de l'autre. Les résultats résumés dans le tableau 1 concernent donc les matières grasses identifiées de façon prépondérante. Pour certains profils, les éléments identifiés sont insuffisants pour trancher entre matière grasse animale ou végétale ; on mentionne alors le terme de matière grasse au sens large. La présence d'une autre source de lipides que celle identifiée majoritairement est difficile à diagnostiquer pour les mêmes raisons.

C'est pourquoi, lors de l'analyse des baumes de momification, la nature des matières grasses animales est souvent difficile à déterminer avec certitude. Par ailleurs à cette période, elles peuvent provenir soit des baumes de momification, soit des restes humains eux-mêmes.

Tableau 1. Substances naturelles identifiées sur le corpus des momies d'Antinoé étudiées au C2RMF

Musée	N° inv	Période	Localisation du prélèvement	Matériaux
Musée de l'Homme, Paris	23313	Antinoé - Copte	cheveux	matière grasse + traces de résine de type <i>Pinus</i> sp.
			textile végétal du bonnet	matière grasse + résine de type <i>Pinus</i> sp.
			baume bras droit	matière grasse
Musée des Beaux-Arts, Dunkerque	1972.00.151	Antinoé - Copte	textile végétal au niveau de la tête	matière grasse + traces de résine de type <i>Pinus</i> sp.
			textile végétal entre les deux pieds	matière grasse végétale (présence des diacides de C ₆ à C ₁₃ , d'acide 13,14-dihydroxydocosanoïque, marqueurs des huiles de graines de <i>Brassicaceae</i> sp.) + résine de type <i>Pinus</i> sp.
			sous les côtes au niveau du bras gauche	matière grasse + traces de résine de type <i>Pinus</i> sp.
			cheveux	matière grasse + résine de type <i>Pinus</i> sp.
Musée d'art et d'archéologie du Périgord, Périgueux	4026	Antinoé - Copte	textile végétal	résine de type <i>Pinus</i> sp. oxydée + traces de matière grasse
Musée d'anatomie, Faculté de Médecine, Lyon	1448	Antinoé - Copte	cheveux	matière grasse animale
Musée des Confluences, Lyon	90002978	Antinoé - Copte	cheveux	matière grasse animale
Musée des Confluences, Lyon	90002977A	Antinoé - Copte	cheveux	matière grasse végétale (présence des diacides de C ₆ à C ₁₃ , d'acide 13,14-dihydroxydocosanoïque, marqueurs des huiles de graines de <i>Brassicaceae</i> sp.) + traces de résine de type <i>Pinus</i> sp.
Musée des Confluences, Lyon	90002982	Antinoé - Copte	textile végétal près du pied	matière grasse
Musée d'anatomie, Faculté de Médecine, Montpellier	E	Antinoé - Copte	cheveux	matière grasse animale
Musée des Beaux-Arts, Lille	2	Antinoé - Copte	cheveux	pas de signal significatif
Muséum national d'histoire naturelle, Nantes	MHNN.E226	Antinoé - Copte	baume sur textile au niveau de la hanche	gomme d' <i>Acacia nilotica</i>
			textile au niveau de la hanche	matière grasse
Musée Joseph-Denais, Beaufort-en-Vallée	BF3644	Antinoé - Copte Momie d'une « prêtresse isiaque »	textile végétal sur le genou droit	matière grasse
			cheveux	matière grasse végétale (dont AGC22:1 = Huile de graine de <i>Brassicaceae</i> sp.) + traces de résine de type <i>Pinus</i> sp.
			baume sur le front	matière grasse animale
			main droite	matière grasse
			bloc de sable aggloméré entre les pieds	matière grasse végétale (présence des diacides de C ₆ à C ₁₄ , d'acide 13,14-dihydroxydocosanoïque et d'acide 11,12-dihydroxyeicosanoïque, marqueurs des huiles de graines de <i>Brassicaceae</i> sp.) + traces de matière grasse animale
			guirlande sur les cheveux	matière grasse + traces de résine de type <i>Pinus</i> sp. + traces d'une résine tri-terpénique
Rouen, Musée départemental des antiquités	AEg 410/1857.1	Copte	momie de femme recouverte de tissus coptes	cire d'abeille altérée

Fig. 1. Substances naturelles prélevées sur une momie copte du musée Joseph-Denais (BF3644). © C2RMF/A. Chauvet.

Le cas particulier des huiles de la famille des Brassicaceae

La présence d'acides myristique, palmitique, stéarique et oléique est associée, dans le cas des huiles végétales siccatives (huile de lin, œillette, noix...), à une série de diacides à chaîne linéaire allant habituellement de 6 à 10 atomes de carbone, le diacide azélaïque comprenant 9 atomes de carbone étant majoritaire.

Ces diacides, considérés comme des biomarqueurs des huiles végétales siccatives lorsqu'ils sont relativement abondants par rapport à l'acide palmitique et stéarique, proviennent de la dégradation d'acides gras insaturés lors de processus d'oxydation, pouvant être favorisés par la lumière et la température, et aboutissant à un clivage de la double liaison. La position de la double liaison sur la chaîne hydrogénocarbonée de l'acide gras « précurseur » détermine la longueur de la chaîne du diacide provenant de sa dégradation.

Le cas des huiles provenant des espèces de la famille des *Brassicaceae* (anciennement nommées *Cruciferae*) est différent, et on observe alors des diacides dont la chaîne linéaire va de 6 à 13 atomes de carbone. Les acides gondoïque (acide 11-eicosanoïque) et érucique (acide 13-docosanoïque) sont en effet relativement abondants dans la composition des huiles provenant de graines de cette famille. Selon un processus analogue à celui décrit précédemment, les acides gondoïque et érucique aboutissent respectivement, lors de leur oxydation, aux diacides linéaires à 11 et 13 atomes de carbones.

Des traces d'acide 13,14-dihydroxydocosanoïque provenant, selon un processus semblable, d'oxydation de la double

liaison de son précurseur, l'acide érucique ((Z)-13-AG C22:1)¹, peuvent parfois être décelées dans les échantillons à l'aide du couplage à la spectrométrie de masse. L'association de ces dérivés di-hydroxylés aux acides eicosanoïque (AG C20 :0), docosanoïque (AG C22 :0) et tétracosanoïque (AG C24 :0), mieux conservés car ne comportant pas de double liaison, est caractéristique des huiles végétales issues des graines provenant des *Brassicaceae*.

La famille des *Brassicaceae* présente de nombreuses espèces, parmi lesquelles on trouve le radis (*Raphanus sativus* L.), le navet (*Brassica rapa* L.) et le colza (*Brassica napus* L.). On considère que l'emploi de l'huile issue des graines de radis est répandu en Égypte romaine¹ ; cependant, les confusions possibles lors des traductions et interprétations des textes anciens comme ceux de Pline, ainsi que la faible quantité d'huile contenue dans les graines de radis², incitent à évoquer, d'une façon plus large, les espèces de la famille des *Brassicaceae* pour origine de ces huiles. Ce type d'huile a été identifié à plusieurs reprises comme combustible dans des lampes à huiles issues de vestiges de céramique égyptienne d'époque romaine provenant du site d'Antinoé¹ (V-VII^e siècle av. J.-C.) mais également dans des céramiques d'époque chrétienne sur le site de Qasr Ibrim en Nubie³.

Préciser le type exact de végétal employé à cette période devient délicat, d'autant que les restes archéologiques se présentent souvent sous la forme de graines d'environ 0,1 cm de long, ce qui rend leur identification précise délicate : des graines de la famille des *Brassicaceae* ont été retrouvées dans la tombe de Toutankhamon⁴ et l'on a retrouvé des graines de navet (*Brassica rapa* L.) à la période romaine⁵.

Fig. 2. Chromatogramme de la substance naturelle présente sur un textile végétal de la momie du musée d'Art et d'Archéologie du Périgord, Périgueux, analyse GC/MS-15m.

Résine de *Pinaceae* sp.

Les structures abiétanes (fig. 2) sont caractéristiques des résines naturelles provenant d'espèces de la famille des Pinacées (*Pinaceae*). Elles peuvent apparaître relativement oxydées, par exemple lorsque les acides 7b (ou 7a)-hydroxy-déhydroabiétique et 15-hydroxy-7-oxodéhydroabiétique, sont présents. Dans certains cas, l'acide 15-hydroxy-déhydroabiétique partiellement méthylé (et non triméthylsilylé par le traitement de dérivation préalable à l'analyse) peut servir d'indicateur d'un chauffage de cette résine. En effet, cette méthylation intervient sur ces acides diterpéniques en raison du méthanol dégagé lors d'une combustion (Garnier, 2003) et non d'une oxydation naturelle.

Cire d'abeille altérée

Les caractéristiques les plus évidentes concernant l'identification d'une cire d'abeille sont la présence d'une série d'esters palmitiques à nombre pair d'atomes de carbone compris entre 40 et 50, ainsi que leur répartition avec l'ester à 46 atomes de carbone majoritaire. En plus de ces composés, la cire d'abeille contient une série de n-alcanes à nombre impair d'atomes de carbone, compris entre 23 et 33, dont l'heptacosane est le composé majoritaire, et une série d'acides gras linéaires de 24 à 34 atomes de carbone.

En contexte égyptien, et ce quelle que soit la période, on observe fréquemment sur les profils, une altération partielle de la composition native de la cire d'abeille. Les alcanes et les acides gras linéaires présents à l'origine peuvent être très

minoritaires, voire absents des matériaux étudiés. Une hydrolyse partielle des esters les plus légers (à 40 et 42 atomes de carbone) est parfois également visible. Ces phénomènes d'altération de la cire peuvent témoigner d'un processus de dégradation ou de migration en surface puis de sublimation de ces composés, compte tenu du contexte aride de leur conservation d'origine⁶.

Gomme naturelle d'*Acacia* sp.

Vérifier la présence éventuelle d'une gomme naturelle nécessite un protocole opératoire adapté, qui diffère de celui employé pour les lipides, cires ou résines : il s'agit en premier lieu d'hydrolyser les polysaccharides en monosaccharides par une méthanolyse acide. Puis, après neutralisation et évaporation, les fonctions alcools des monosaccharides sont dérivées par un réactif de triméthylsilylation afin de faciliter leur élution et leur séparation en chromatographie en phase gazeuse⁷. Ce protocole permet de détecter la présence des monosaccharides constitutifs des polysaccharides que l'on trouve dans les gommages naturelles (gomme arabique, gomme de cerisier, gomme adragante...), ou dans l'amidon et la cellulose.

La gomme naturelle la plus fréquemment rencontrée en contexte égyptien est une gomme arabique, exsudat provenant de l'espèce *Acacia* sp., poussant au bord du Nil. Si son profil chromatographique est semblable à celui d'une gomme d'acacia d'Afrique de l'Ouest, l'*Acacia senegal* sp. par exemple, l'absence du pic de rhamnose sous sa forme à pyranose est caractéristique des acacias de type *tortilis*, *nilotica*, *nubica* ou *arabica*⁸.

Conclusion sur le corpus des momies d'Antinoé

Ces premiers résultats révèlent la prépondérance de l'utilisation de résine de la famille des *Pinaceae*. Aucune trace d'une autre résine végétale, comme la résine de pistachier (famille des *Anacardiaceae*, genre *Pistacia*), qui est parfois identifiée comme vernis sur des stèles ou des cercueils polychromes de la période pharaonique, n'a été décelée dans ce corpus.

Est-ce à mettre en relation avec l'organisation des circuits commerciaux de cette période, ces deux substances n'étant pas indigènes mais importées (île de Chios pour la résine de pistachier et pays du Moyen-Orient pour les résines *Pinaceae*), ou cela correspond-il à la valeur symbolique ou aux propriétés chimiques dans la conservation des corps de la résine de *Pinaceae* sp. par rapport à la résine de pistachier, dont on réserve l'usage à la polychromie d'objets décoratifs ?

L'utilisation de substances bitumineuses n'a pas non plus été mise en évidence lors de ces analyses, ce qui témoigne d'une modification des procédés d'embaumement à cette période plus récente par rapport à la période pharaonique où du bitume est parfois identifié.

En ce qui concerne les corps gras, il est souvent difficile d'en définir l'origine avec certitude, végétale ou animale, matériaux d'embaumement ou restes humains, hormis dans le cas des huiles de *Brassicaceae* sp. dont la signature est particulière. Cependant, il existe d'autres sources d'huiles végétales en Égypte : huile de balanos (*Balanites aegyptiaca*), huile de ben (*Moringa peregrina* ou *Moringa aptera*...). L'huile de raphanos (*Brassicaceae* sp.) est citée dans des papyri grecs provenant de la région du Fayoum, de période gréco-romaine, pour un usage médicinal sous forme d'onguent (Papyrus Amherst II, papyri Oxyrhynchus VI et XVI)⁹.

Remerciements

Ces analyses chromatographiques ont pu être entreprises lors de la campagne d'étude du corpus d'Antinoé en datation C14, publiée par ailleurs¹⁰ ; que Pascale Richardin, Nathalie Gandolfo et Noëlle Timbart en soient remerciées.

Notes

1. Lucas et Harris, 1962 ; Serpico et White, 2000.
2. Keimer, 1984.
3. Copley *et al.*, 2005 ; Regert *et al.*, 1998.
4. De Vartavan, 1990.
5. Serpico et White, 2000.
6. Regert *et al.*, 2001.
7. Bleton *et al.*, 1996 ; Méjanelle, 1996.
8. Anderson *et al.*, 1966.
9. Lucas et Harris, 1962 ; Pline, XV, 7.
10. Cadot *et al.*, 2013 ; Guérin *et al.*, 2013.

Bibliographie

- Anderson D. M. W. and Karamalla K. A., 1966, "Studies on uronic acid materials. Part XII. The composition of Acacia Gum Exudates", *Journal of the Chemical Society, Section C*, p. 762.
- Bleton J., Méjanelle P., Sansoulet J., Tchaplal A., 1996, "Characterization of neutral sugars and uronic acids after methanolysis and trimethylsilylation for recognition of plant gums", *Journal of Chromatography A* 720: 27-49.
- Cadot L., Coudert M., Dal Prà P., Gandolfo N., Langlois J., Richardin P., Timbart N., Weygand S., 2013, « Étude et restauration de deux momies du musée Joseph-Denais de Beaufort-en-Vallée », *Technè* n° 38, Science et conservation, p. 59-64.
- Colombini M. P., Modugno F., Ribechini E., 2005, "Organic mass spectrometry in archaeology: evidence for *Brassicaceae* seed oil in Egyptian ceramic lamps", *Journal of Mass Spectrometry* 40: 890-898¹¹.
- Colombini M. P., Giachi G., Modugno F., Ribechini E., 2004, "Characterisation of organic residues in pottery vessels of the Roman age from Antinoe (Egypt)", *Microchemical Journal* 79: 83-90.
- Copley M. S., Bland H. A., Rose P., Horton M., Evershed R. P., 2005, "Gas chromatographic, mass spectrometric and stable carbon isotopic investigations of organic residues of plant oils and animal fats employed as illuminants in archaeological lamps from Egypt", *The Analyst* 130(6): 860-871.
- De Vartavan C., 1990, "Contaminated plant-foods from the tomb of Tutankhamun: a new interpretative system", *Journal of Archaeological Science*, 17: 473-494.
- Keimer L., 1984, *Die Gartenplanflanzen im alten Ägypten II*. DAIK. ed. Germer, Mainz am Rhein.
- Garnier N., 2003, "Structural analysis of organic materials preserved in ceramics from Antiquity: new developments in chromatography and mass spectrometry", Thèse de doctorat, Université Pierre-et-Marie-Curie, Paris VI. p. 222-239.
- Guérin M.-L., Mointerot P., Brunet A., Langlois J., Gandolfo N., Richardin P., Cadot L., Timbart N., 2013, « Étude et restauration de la momie égyptienne du musée de Nantes : exemple d'une collaboration pluridisciplinaire », *La Lettre de l'OCIM*, n° 148, p. 12-20.
- Lucas A., Harris J. R., 1962, *Ancient Egyptian Materials and Industries*, 4th edition, Edward Arnold, London, p. 329.
- Méjanelle P., 1996, « Contribution à l'étude de substances organiques (gommes, résines et corps gras) mises en œuvre pour la réalisation d'objets d'art et d'archéologie : caractérisation par couplage chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse », Thèse de doctorat, Université Paris VI. Pline, XV, 7.
- Regert M., Bland H. A., Dudd S. N., Van Bergen P. F., Evershed R. P., 1998, "Free and bound fatty acid oxidation products in archaeological ceramic vessels", *Proceedings of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences* B(265): 2027-2032.
- Regert M., Colinart S., Degrand L. et Decavallas O., 2001, "Chemical alteration and use of beeswax through time: accelerated ageing tests and analysis of archaeological samples from various environmental contexts", *Archaeometry*, 43 (4), p. 549-569.
- Serpico M., White R., 2000, "Resins, amber and bitumen", in *Ancient Egyptian Materials and Technology* (Eds. Nicholson P. et Shaw I.), Cambridge University Press, Cambridge, p. 459.
- Serpico M., White R., 2000, "Oil, fat and wax", in *Ancient Egyptian Materials and Technology* (Eds. Nicholson, P. & Shaw, I.), Cambridge University Press, Cambridge, p. 390-429.
- Serpico M., White R., 2001, "The use and identification of varnish on New Kingdom funerary equipment", in *Colour and painting in ancient Egypt* (Ed. Davies, W. V.), British Museum Press, London, p. 33-42.