

pour cent des baumes et exceptionnellement jusqu'à 30 pour cent. En général, ce bitume vient de la mer Morte. Cependant, nous avons trouvé du bitume qui semble venir de Hit, en Irak. Le bitume du Djebel Zeit, près de la mer Rouge (Égypte) et celui du Sinaï (Israël) ou du Yémen ont peut-être aussi servi à la confection des baumes.

Pourquoi les embaumeurs employaient-ils ce bitume coûteux ? Parce qu'il noircissait les momies. Le noir était la couleur d'Osiris, dieu des Morts et du Recommencement (voir la figure 1). Lorsque la momie prenait cette couleur, elle se métamorphosait symboliquement en Osiris et atteignait comme lui la vie éternelle.

D'après la présence dans les baumes de molécules de cérides, des molécules formées à partir d'acides gras qui constituent la cire d'abeille, celle-ci était souvent le troisième constituant principal des baumes. Les

embaumeurs s'en servait peut-être pour abaisser la température de fusion du baume et faciliter ainsi sa pénétration dans des endroits du corps difficiles d'accès, tels le crâne et l'abdomen. Cependant, l'utilisation de cire s'explique peut-être aussi par les croyances des Égyptiens qui lui attribuaient des pouvoirs magiques.

Enfin, les baumes contiennent des molécules de furanones, courantes dans les parfums, et de sesquiterpènes, des lipides présents surtout chez les plantes. Nous ignorons encore de quelles espèces de plantes ils proviennent.

Les baumes contiennent aussi des graisses. Quelques égyptologues ont mentionné la possibilité de contamination des baumes par la graisse de la momie elle-même. Nous avons écarté cette hypothèse, pour deux raisons : les acides gras précédemment mentionnés sont présents dans les baumes des bandelettes qui ne touchent pas

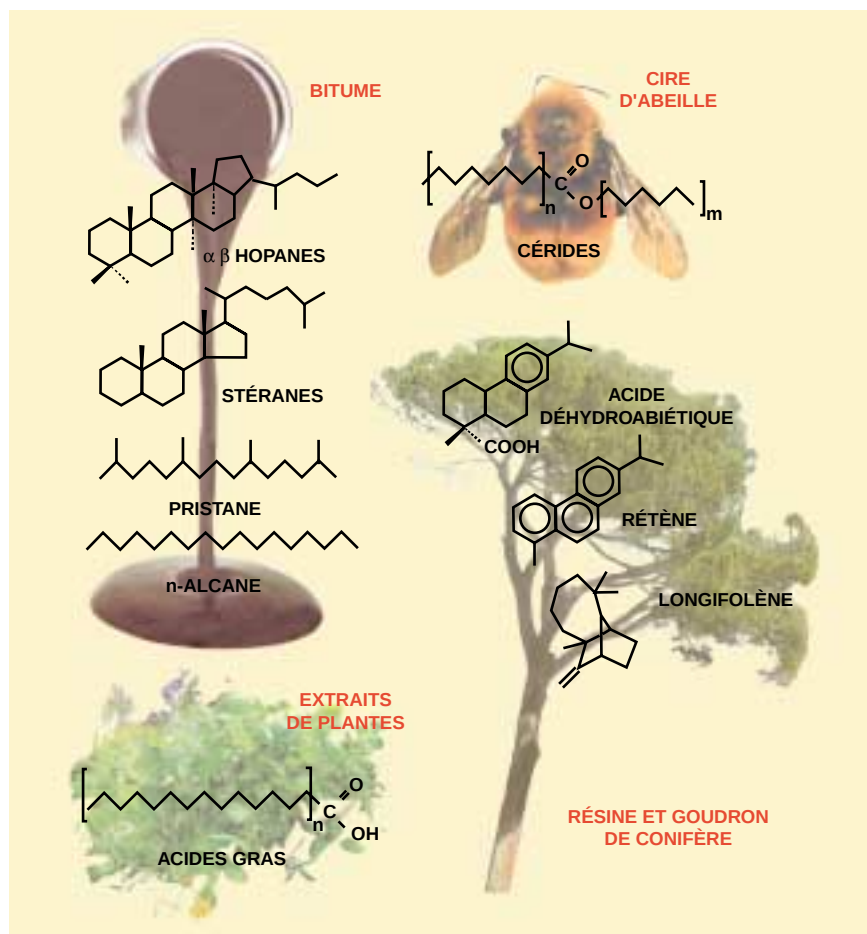
la momie ; en outre, le traitement au natron, qui précède l'application des baumes, transforme les graisses de la momie en savon.

Substances animales ou végétales ?

Les graisses étaient-elles d'origine animale ou végétale ? Les papyrus médicaux de l'Égypte ancienne rapportent que des graisses animales servaient à la confection de nombreux remèdes. Cependant, dans les baumes, nous avons surtout trouvé des acides gras légers (de six à dix atomes de carbone), présents dans les plantes. Étaient également présents des acides gras plus lourds (de 14 à 18 atomes de carbone, notamment l'acide stéarique et l'acide palmitique), mais ceux-ci sont présents dans le règne végétal comme dans le règne animal. Comment savoir leur provenance ? À cette fin, nous avons déterminé les proportions des atomes de carbone 12 et de carbone 13, dont les noyaux comportent respectivement six et sept neutrons, en plus de six protons. Ces analyses « isotopiques » indiquent que les acides gras des baumes seraient plutôt d'origine végétale : selon leur métabolisme, les plantes et les animaux s'enrichissent plus ou moins en carbone 12 ; les proportions mesurées dans les acides gras sont plutôt celles des plantes. En définitive, nous n'avons pas trouvé de preuve de l'emploi de graisses animales dans les baumes : les Égyptiens répugnaient peut-être à les utiliser étant donné qu'ils considéraient de nombreux animaux comme des dieux.

D'après l'ensemble de nos analyses, les proportions des quatre constituants principaux (résine et goudron de conifères, bitume, cire d'abeille et plantes) variaient beaucoup. Chaque constituant n'était pas systématiquement présent dans tous les baumes. Les recettes des embaumeurs n'étaient pas bien définies par les règles religieuses, et chacun faisait probablement avec ce qu'il avait.

D'après R. Evershed et ses collègues de l'Université de Bristol, avant cette Troisième Période intermédiaire, dont datent les plus anciennes momies que nous avons étudiées, au Moyen et au Nouvel Empire, les embaumeurs utilisaient surtout des gommes et résines. D'autres travaux convergents ont montré que les baumes de la momie de Ramsès II (Nouvel Empire) sont à base



5. LES BAUMES étaient composés de résine et de goudron de conifère, de bitume, de cire d'abeille et d'extraits de plantes. Grâce à l'analyse chimique des baumes, notamment par chromatographie et par spectrométrie de masse, on identifie les molécules qu'ils contiennent (on a représenté ici leur squelette carboné, les lettres *m* et *n* indiquant que les longueurs des chaînes sont variables). Par comparaison avec les analyses des substances naturelles susceptibles d'avoir servi à la préparation des baumes, on identifie leurs ingrédients.

de gomme adragante (extraite des tiges de l'astragale, un arbrisseau épineux). Cependant, les embaumeurs utilisaient déjà la résine de conifères du temps de la momie de Idu II, secrétaire général de l'office du commerce du bois de pin vers 2200 avant notre ère.

La préparation des baumes

Grâce aux analyses chimiques, nous avons pu appréhender certaines conditions de préparation et de conservation des baumes. La présence d'esters éthyliques d'acides gras, molécules formées par réaction de l'alcool éthylique avec les acides gras, indique que l'embaumeur devait utiliser du vin pour préparer les baumes. L'absence de craquage thermique intense (dissociation des molécules sous l'action de la chaleur) indique que la température du baume restait modérée (probablement inférieure à 200 °C), lors de sa préparation. L'embaumeur chauffait les ingrédients jusqu'à la température de fusion. En général, le baume des momies est très bien conservé, car il est protégé de tout contact avec l'atmosphère par les bandelettes. Toutefois, la présence de molécules issues de la dégradation thermique des hydrocarbures, sur l'une des momies, indique qu'elle a atteint une température de plusieurs centaines de degrés, confirmant ainsi l'hypothèse d'un incendie, allumé dans la tombe par des pillards.

Aujourd'hui, on connaît les grandes lignes de la composition chimique des baumes, ainsi que leurs principaux ingrédients. Pourtant, certains égyptologues continuent d'employer indifféremment les termes «baume»,

«bitume», «asphalte», «résine», «gomme» pour désigner les produits utilisés par les embaumeurs. Ces termes trop précis ne correspondent pas aux résultats des analyses, qui établissent définitivement que les baumes sont des mélanges de résine et de goudron de conifère, de bitume, de cire d'abeille et d'extraits de plantes. On ne devrait utiliser que le terme «baume», qui évoque le matériau préparé par les embaumeurs, mais ne préjuge en rien de sa composition chimique.

La chimie des baumes ne nous a pas encore livré tous ses secrets. Récemment, nous avons différencié la signature chimique de la résine brute (la gemme) et du goudron de conifère (la poix) en étudiant des calfatages de bateaux de l'époque gallo-romaine (du I^{er} siècle avant notre ère au III^e siècle de notre ère). Nous pourrions utiliser ce résultat pour parfaire notre connaissance des baumes.

Reste également à déterminer les plantes dont les embaumeurs utilisaient les extraits. La chimie des parfums devrait nous y aider.

Enfin, nous projetons de déterminer les proportions des ingrédients déjà identifiés, autres que le bitume, pour lequel nous connaissons les quantités utilisées. Cette tâche requiert l'analyse des étalons de chaque ingrédient, dont la composition varie suivant sa provenance. Au total, le nombre de références à accumuler et à comparer aux analyses des baumes est de plus en plus volumineux au fur et à mesure du progrès des connaissances, ce qui laisse encore beaucoup de travail avant que nous puissions répondre à toutes les questions que posent les baumes.

Jacques CONNAN est directeur de recherche associé au Laboratoire des substances naturelles de Strasbourg (CNRS) et expert international en géochimie organique à *Totalfina Elf* (Pau). André MACKE est médecin, spécialiste en radiologie et en imagerie médicale. Christiane MACKE-RIBET, aujourd'hui décédée, était médecin. A. Macke et Ch. Macke-Ribet ont collaboré avec l'Institut d'égyptologie thébaine du Louvre (CNRS) et le Centre d'études et de documentation sur l'Ancienne Égypte.

F. DUNAND et R. LICHTENBERG, *Les momies et la mort en Égypte*, Éditions Errance, 1998.

A. MACKE, Ch. MACKE-RIBET et J. CONNAN, *Ta Set Neferou. Une nécropole de Thèbes-Ouest : momification, chimie des baumes, anthropologie, paléopathologie*, Nubar Printing House, Le Caire (à paraître).

A. MACKE et Ch. MACKE-RIBET, *Intérêt de l'entomologie pour préciser le déroulement de l'embaumement en Égypte ancienne ou la médecine légale au secours d'Hérodote*, in *Journal de médecine légale, Droit médical*, n° 37, pp. 495-503, 1994.

M. MORCELLET, A. MACKE et Ch. MACKE-RIBET, *Étude des composés utilisés pour «dessécher» les momies*, in *Memnonia*, vol. VIII, pp. 97-210, 1997.

Cytokines et sensibilité aux maladies

DOMINIQUE ÉMILIE • MARC HUMBERT • PIERRE GALANAUD

Lors d'une infection, des molécules libérées par le système immunitaire détruisent l'intrus. Quand la réaction de défense s'emballe et que les cytokines sont trop abondantes, elles créent des lésions. De nouvelles substances les inhibent spécifiquement, soulageant ainsi des maladies chroniques invalidantes.

Le système immunitaire préserve l'intégrité des personnes face à leur environnement : son rôle est primordial dans les mécanismes de défense contre les agents infectieux ou parasitaires. Il prévient aussi certains désordres internes, notamment en détruisant les cellules tumorales. Ces combats permanents sont rigoureusement contrôlés, car ils ne doivent pas se retourner contre la personne elle-même. L'intensité des réactions immunitaires doit être ajustée – intense pour l'élimination de l'intrus, mais pas trop pour que la personne elle-même soit épargnée ; elle doit être spécifique – la réaction est dirigée exclusivement contre les intrus, mais pas contre les molécules propres à l'organisme, et adaptée, car la protection n'est pas assurée de la même façon selon l'agent pathogène.

La première phase de toute réaction immunitaire est celle de la reconnaissance et de la présentation au système immunitaire des antigènes des intrus, dont se chargent les cellules présentatrices d'antigènes. Dès qu'un antigène étranger est reconnu, ces cellules «avalent» les protéines étrangères, les découpent en fragments qu'elles exposent à leur surface. Puis la réaction de défense s'amplifie, les lymphocytes *T* auxiliaires attirant les différents acteurs de la défense à l'endroit où l'agent pathogène a été localisé. Après la phase de reconnaissance et celle d'amplification, la troisième phase est celle de l'élimination de l'intrus. Plusieurs acteurs interviennent, notamment les lymphocytes *B* produisant des anticorps

qui se lient aux antigènes étrangers et empêchent, par exemple, les bactéries de se fixer sur de nouvelles cellules et de les infecter ; des lymphocytes *T* cytotoxiques qui libèrent des enzymes destructrices ; des macrophages qui éliminent les cellules infectées. Les réactions des différents partenaires sont rigoureusement coordonnées. Les cellules échangent des signaux de régulation, soit par contacts intercellulaires directs (des molécules exprimées à la surface d'une cellule interagissent directement avec des récepteurs présents à la surface d'une autre), soit par des médiateurs solubles, libérés par les cellules dans le milieu environnant : ce sont les cytokines.

Des dizaines de fantassins

Les cytokines sont des agents essentiels du système immunitaire. La première cytokine, l'interleukine 1, a été découverte en 1981 ; aujourd'hui, on en connaît une cinquantaine, et l'armée des cytokines est répartie en cinq bataillons selon leur fonction biologique : les interférons, dont la principale action est l'inhibition de la réplication virale dans des cellules infectées ; les interleukines, qui assurent les échanges d'informations entre les globules blancs ; les facteurs de croissance hématopoïétiques, qui stimulent la production de cellules du système sanguin. Le quatrième bataillon, celui des facteurs de croissance, contrôle la formation et l'entretien du tissu conjonctif. Enfin, les

chimiokines participent aux phénomènes de migration des leucocytes (les diverses classes de globules blancs, notamment les lymphocytes, les monocytes, les macrophages, les polynucléaires).

Cette classification est imparfaite, car certaines cytokines ont des actions qui les classent dans plusieurs familles ; de plus, certaines cellules étrangères au système immunitaire peuvent aussi produire des interleukines, et certaines interleukines agissent sur des cellules qui n'appartiennent pas au système immunitaire ! Interférons, interleukines et chimiokines sont les principales cytokines des réactions immunitaires.

Les cellules immunitaires au repos ne produisent généralement pas de cytokines ; elles n'en produisent qu'après avoir été activées, en général par l'agent pathogène. Elles agissent seulement dans l'environnement immédiat des cellules qui les produisent. Ainsi, lors d'une réaction immunitaire, seules quelques cellules immunitaires produisent, localement, des cytokines. Cela limite la réaction immunitaire dans le temps et dans l'espace, l'efficacité étant alors optimisée, et les effets délétères pour l'organisme minimisés.

Les cytokines agissent par l'intermédiaire de récepteurs cellulaires constitués de deux sous-unités (des protéines), l'une fixant la cytokine et l'autre assurant la transduction du signal d'activation vers l'intérieur des cellules. Ces récepteurs sont portés par les cellules du système immunitaire. Les interleukines sont regroupées en plusieurs