

Fluides d'embaumement

Une vie après le formol ?

Laure Dessart, Charles-Louis Serpentine, Florence Benoît-Marquié et Armand Lattes

Résumé Depuis l'époque des Égyptiens où le natron était utilisé pour embaumer les défunts, de nombreuses recherches visant à formuler de nouveaux mélanges de conservation ont été effectuées. Ces techniques ont évolué et sont connues aujourd'hui sous le nom de thanatopraxie. La plupart des fluides actuels contiennent comme principal conservateur le formaldéhyde, composé reconnu très efficace mais doté d'une toxicité importante. Le but de cette mise au point bibliographique est de proposer des alternatives et de nouvelles voies de substitution avec des composés tout aussi efficaces et non toxiques ou moins toxiques que le formaldéhyde. Après un rappel historique, les utilisations et la problématique actuelle vis-à-vis de la toxicité du formaldéhyde et des contraintes liées à la formulation d'un fluide sont présentées. Enfin, les différents travaux effectués et brevets déposés dans ce domaine sont exposés, ainsi que de nouvelles voies intéressantes pour cette application.

Mots-clés **Thanatopraxie, formaldéhyde, formulation, conservateurs, toxicité.**

Abstract **Embalming fluids: a life after formol?**

Since Egyptians used natron in mummification, many studies aiming to formulate new embalming fluids have been undertaken. For this time, these technologies have changed and become today thanatopraxis science. Most of current embalming fluids contain formaldehyde as first preservative which is a well-known very efficient molecule but with a large toxicity. This bibliographic article aims to propose alternatives and other ways to substitute formaldehyde for compounds just as efficient and less toxic than formaldehyde. After an historical from Egyptians until now, this article shows current applications and problematic about formaldehyde toxicity and conditions to formulate embalming fluids. Finally, different studies and patents in this field and new interesting ways for this application. Are presented

Keywords **Tanatopraxis, formaldehyde, formulation, preservatives, toxicity.**

Après les Égyptiens, ce n'est qu'au XIX^e siècle que réapparaissent les techniques d'embaumement visant à conserver et à rendre un aspect reposé aux défunts.

La thanatopraxie, forme moderne de l'embaumement, est une science peu connue en France, mais qui connaît un essor à l'heure actuelle. En effet, cela devient une question de société car de plus en plus de personnes souhaitent faire traiter ainsi leurs défunts pour des raisons esthétiques ou dans l'attente d'obsèques tardives. C'est pourquoi l'élaboration d'un mélange optimal pour cette application a suscité et suscite toujours l'intérêt de nombreux chercheurs.

Différents mélanges ont été utilisés depuis un siècle, ceux à base de formol étant les plus connus et les plus efficaces jusqu'à présent. Mais le formol présente aussi une réelle toxicité pour l'utilisateur et son entourage. En vue d'anticiper des réglementations de plus en plus strictes et pour préserver l'environnement, il convient de lui trouver des alternatives et donc d'élaborer des produits non ou très peu toxiques.

Après un rappel historique des techniques d'embaumement au cours du temps, les utilisations actuelles seront détaillées et les problèmes de santé possibles mentionnés. Puis, le cahier des charges à respecter et les caractéristiques auxquelles doit répondre tout fluide d'embaumement seront exposés, avant de voir que plusieurs brevets ont été déposés dans ce domaine mais qu'il existe d'autres voies

originales permettant de substituer les conservateurs dits toxiques à des composés ayant une action similaire de moindre toxicité, voire non toxiques.

De l'embaumement à la thanatopraxie

Qu'est-ce que la thanatopraxie ? D'un point de vue étymologique, ce terme thanatopraxie provient de Thanatos qui était le dieu de la mort chez les Grecs, et du verbe grec

Glossaire

Conservateurs ou agents de conservation : agents antioxydants et antimicrobiens à large spectre qui réduisent ou tuent les microorganismes ; ce sont aussi des antiseptiques et des désinfectants. Ces composés sont injectés par voie artérielle afin de conserver les cadavres, leur permettant ainsi de garder un aspect le plus naturel possible.

Formaldéhyde : cet aldéhyde de formule HCHO est un gaz incolore soluble dans l'eau, d'odeur irritante et se polymérisant rapidement en différents produits inactifs. La plupart du temps, il est utilisé sous une forme aqueuse connue sous le nom de formol qui est une solution de formaldéhyde de 34 à 37 % stabilisée par 8 à 15 % de méthanol.

Thanatopraxie : mise en œuvre de divers procédés de traitements et de conservation des cadavres.

praxein signifiant manipuler, traiter. La thanatopraxie se définit donc comme étant l'ensemble des moyens et techniques mis en œuvre pour le traitement après la mort, c'est-à-dire la conservation des corps destinée à retarder la thanatomorphose. On peut dire que la thanatopraxie est la forme moderne de l'embaumement.

Historique [1-3]

L'embaumement dans l'Égypte antique

Lorsque l'on parle d'embaumement, on pense inévitablement à l'Égypte antique. Vers 2000 av. J.-C., la momification était un rite sacré, souvent réservé à une certaine catégorie sociale. Initialement, seuls les personnages de rang royal, et secondairement les hauts dignitaires, pouvaient y songer. Cependant, chacun voulut y accéder quel que fût son rang et ceci, non seulement pour des problèmes d'hygiène, mais surtout par conviction religieuse. En effet, il fallait immortaliser le corps humain pour permettre la survie de l'âme. Il ne reste que deux manuels réunis sous le nom de *Rituel de l'embaumement* écrits par les Égyptiens, détaillant le protocole de cette pratique. Selon le témoignage de certains Grecs, et en particulier d'Hérodote, trois méthodes étaient proposées aux familles :

- ⇒ la plus coûteuse nécessitait l'éviscération, le comblement des vides par des substances aromatiques, le traitement du corps au natron (substance à base de carbonate de soude, chlorure et sulfate de sodium) et enfin la pose de bandelettes ;
- ⇒ pour la seconde catégorie, les viscères restaient en place ; on se contentait de les dissoudre avec de l'huile de cèdre injectée par l'anus ;
- ⇒ pour la troisième catégorie, l'huile de cèdre était remplacée par un produit moins onéreux, ce qui rendait la conservation plus aléatoire.

Aux temps florissants de la momification, un embaumement type commençait par l'extraction du cerveau par voie rhinoseptale à l'aide de crochets. Le « parachiste » était alors chargé d'inciser et d'ôter les viscères. Seul le cœur, considéré comme le siège de l'affectivité, de l'intellect et de la personnalité, faisait l'objet de précautions particulières et était laissé en place. Les viscères étaient lavés, traités par le natron, enduits de gomme et de résine chaude, et finalement enveloppés dans de la toile. Toutes ces opérations faisaient partie de la tâche du « taricheute ». Selon les époques, les viscères devaient réintégrer le corps, ou étaient placés entre les jambes, ou bien conservés dans des canopes, jarres dont le couvercle est à l'effigie des quatre fils d'Horus, dieu protecteur des pharaons. Le corps était ensuite recouvert de natron afin de dissoudre les graisses et d'accélérer la dessiccation du corps, lavé à grande eau et enfin séché.

Le comblement des vides s'effectuait soit par les viscères eux-mêmes, soit par du matériel de bourrage comme des tissus, résines, aromates (notamment myrrhe et boswellia). Ceci avait pour but de restituer figure et morphologie humaines à la dépouille.



Figure 1 - Anubis, divinité à tête de chacal, présidait à l'embaumement et accompagnait les rois défunts dans l'au-delà. DR.

Il était également important de garder un bon aspect esthétique : les ongles étaient teints au henné et maintenus en place par des fils ; les yeux étaient remplacés par des pierres à double tonalité évoquant l'aspect oculaire ; les organes génitaux étaient également traités, et parfois même conservés dans une statuette d'Osiris, le dieu des morts.

Toutes ces opérations laissent ensuite place aux onctions et massages du corps surtout destinés à l'assouplir. Toutes ces manœuvres faisaient partie d'un rituel et étaient entrecoupées d'invocations. Le corps était ensuite refermé par suture, cire cachetante, plaque de bronze ou d'or, suivant la fortune du défunt. Dans le souci de reproduire un modèle proche de la réalité humaine, les embaumeurs complétaient leur travail par une reconstitution esthétique.

Venait ensuite la mise de bandelettes auparavant imprégnées de résine. Le bandage de la tête était le plus délicat, terminé par un savant « croisé » qui recouvrait la face. Pour finir, on recouvrait le corps d'un masque funéraire.

Ainsi réalisée, la momie était enfermée dans un cercueil de carton fort, lui-même placé dans un coffre de pierre ou de cèdre, couvert de hiéroglyphes, levé verticalement dans le tombeau (figure 2). Toutes ces opérations s'étendaient sur soixante jours au minimum, ce qui explique pourquoi ce style de momification était réservé aux gens aisés.

L'excellente conservation des momies égyptiennes n'est pas entièrement due à la qualité des techniques et à la valeur des ingrédients ; elle a été également favorisée par le climat très sec du pays, très propice à l'élimination des liquides corporels.

Vers le début du 1^{er} siècle après J.-C, le christianisme s'étendit en Égypte et les tendances politico-religieuses divergèrent. Pour l'Église, l'embaumement était une atteinte à l'intégrité du corps. Ces techniques de conservation tombèrent donc peu à peu dans l'oubli.

Qu'en était-il en Europe ?

Au Moyen-Âge, quelques essais d'embaumement firent leur apparition, ignorant toutes les techniques antérieures. Toujours réservées aux personnages de haut rang et aux



Figure 2 - Cercueil de momie. DR.

La thanatopraxie aujourd'hui en France

En France, seuls les titulaires du diplôme national (instauré en 1994) ainsi que d'une habilitation préfectorale – prévue par la loi 93.23 du 8 janvier 1993 – sont actuellement habilités à exercer la profession de thanatopracteur. On en dénombre 978 en 2006⁽¹⁾ contre 818 en 2003 et 475 en 1998. En 2005, sur 537 300 décès⁽²⁾, environ 200 000 actes de thanatopraxie ont été effectués [4], soit un peu plus de 37 %. Même si la thanatopraxie demeure méconnue, les soins de conservation des corps sont en constante augmentation : 7 à 10 % par an depuis 1976 [4]. Plusieurs raisons peuvent expliquer cette croissance :

- La dispersion des familles nécessite souvent quelques jours pour les rassembler lors d'une inhumation ;
- Le délai légal d'inhumation en France est d'au moins 24 heures et au plus de 6 jours après le décès (dimanches et jours fériés non inclus). Dans le cas d'un rapatriement de corps de l'étranger ou d'outre-mer, ce délai ne débute qu'à la date d'arrivée du corps sur le sol métropolitain⁽³⁾ ;
- Le nombre croissant de conventions obsèques entraîne *de facto* une hausse des actes de thanatopraxie puisque ces derniers y sont quasi systématiquement intégrés.

Du point de vue de la législation, les soins de conservation ne peuvent être que recommandés. Ils ne sont imposés que dans les deux cas suivants⁽⁴⁾ : lors d'un transfert de corps sans mise en bière, effectué entre 24 et 48 h après le décès, et lors d'un transfert de corps sans mise en bière de plus de 600 km. En dehors de ces cas, la décision revient à la famille du défunt. Les soins de conservation sont par ailleurs soumis par la loi à quatre conditions⁽⁵⁾ :

- l'autorisation des soins signée par la famille,
- l'autorisation des soins délivrée par la mairie,
- la présence d'un fonctionnaire de police à qui le thanatopracteur remettra le mode opératoire et un échantillon du produit d'injection. Cet échantillon est soit finalement placé dans le cercueil du défunt, soit analysé afin de vérifier qu'il ne contient aucune substance interdite (arsenic, plomb, mercure, métaux lourds ou autres substances polluantes classées),
- la non-opposition légale apposée sur le certificat par le médecin ayant constaté le décès. Elle certifie l'absence de maladie contagieuse interdisant les soins de conservation (charbon, choléra, fièvres hémorragiques virales, hépatites virales B, C, D et E, peste, rage, variole et autres orthopoxviroses, infection par HIV).

Rappelons que le thanatopracteur intervient le plus tôt possible après le décès (moins de 12 h) pour procéder aux soins de conservation et de toilette du corps, dans l'attente des funérailles. Le corps (la tête et les mains du défunt) doit garder un air reposé et un aspect le plus proche possible de celui que connaît et attend la famille. Les facteurs esthétiques sont donc importants.

papes, ces techniques utilisaient aromates, parfums... mais les résultats n'étaient guère satisfaisants.

Il faut attendre le XVII^e siècle pour voir apparaître des études anatomiques ; vers 1550, Miguel Servet explique la circulation sanguine pulmonaire, et Harvey découvre le système circulatoire en 1628.

A partir du XIX^e siècle, plusieurs recherches furent mises en œuvre afin de découvrir un mélange idéal pour la conservation des corps. On évolua de mélanges à base d'arsenic (interdits ensuite) à ceux à base de phénol, en passant par l'utilisation de chlorure de zinc (proposé par Sucquet). Il convient d'insister sur l'apparition à cette époque d'un nouvel antiseptique, le formol, découvert en 1868 par Hoffman, mais introduit seulement en 1893 par Blum dans la technique anatomique [3]. Dès 1895, les frères Lumière et Koehler furent les premiers à préconiser son emploi pour la conservation des cadavres [3]. Les années suivantes, toute une série de formules utilisant le formol en solution aqueuse ou glycinée, combinée parfois à d'autres antiseptiques, ont été mises au point.

En 1924, le chimiste Boris Zbarski réalise l'embaumement du corps de Lénine. Pour cela, il utilise des méthodes traditionnelles, inspirées des Égyptiens, mais dont on ne connaît pas les détails. Cet exemple est néanmoins très éloigné de ce qui se pratique de nos jours, la durée de conservation recherchée étant très différente.

C'est Gannal qui instaura une méthode d'injection par voie artérielle (fémorale ou carotidienne) associée à un drainage veineux. Cette pratique, bien sûr améliorée, est celle qu'utilisent les thanatopracteurs actuellement.

Pratiques actuelles

Produits utilisés

En Europe, les produits conservateurs sont le plus souvent à base d'un mélange glycéro-formolé, de préférence associé à de l'alcool à 95°. Les principaux produits actuels sont répertoriés dans le *tableau I*.

C'est le professeur Winckler, d'origine suisse, qui a donné son nom à une solution utilisée depuis le XIX^e siècle et encore actuellement dans certains laboratoires français d'anatomie (à Marseille notamment). La formule est à base de formol, phénol, alcool 95°, glycérine et hydrate de chloral. Cette solution est très efficace mais longue à préparer, onéreuse et surtout très toxique à cause du formol et du phénol – ce dernier étant même plus toxique que le formol.

Dans la littérature, plusieurs brevets, le plus souvent américains, traitent de la formulation de fluides sans formol. En effet, les principaux agents de conservation décrits sont les suivants :

- dialdéhydes : glutaraldéhyde [5-6], butanedialdéhyde [7-8], glyoxal [7, 9] éthanedial [10],
- cétone : peroxyde de dialcyl cétone [11],
- libérateurs de formol : Dowacil et hydantoïne [12],
- sels d'aluminium : alum (potassium aluminium sulfate) [12],
- chlorure de zinc [13],
- acétal : diéthylacétal [14],
- acides : acides ascorbique et citrique [15],
- composés iodés : polyvinylpyrrolidone-iode [16].

Les brevets sont répertoriés par année, titre et référence dans le *tableau II*.

Protocole suivi par le thanatopracteur [2, 17]

Le protocole mentionné ci-dessous est donné à titre indicatif. Il n'a pas pour but d'être détaillé et exhaustif. Pour plus de précisions, nous invitons le lecteur à consulter le site Internet www.thanatopraxie.com.

Tout d'abord, le thanatopracteur mobilise les articulations pour rompre la rigidité cadavérique. Ces préliminaires permettent de favoriser le passage du liquide conservateur, appelé mélange d'embaumement. Un liquide, coloré et antiseptique, est injecté dans le système artériel, en général par la carotide ou par la fémorale. Le choix de l'artère dépend des préférences du directeur funéraire et de l'état du sujet. Il arrive souvent que l'on injecte en plusieurs points, appelés

points d'injection, si le liquide ne diffuse pas correctement dans toutes les régions du corps. Ceci dépend évidemment du sujet (cause du décès, éventuelles maladies, cardiovasculaires en particulier). L'injection est effectuée soit sous pression, variable selon le sujet (taille et poids) – en utilisant des pompes (électriques ou manuelles) –, soit par gravité – on laisse s'écouler le produit sans exercer de pression.

La première méthode est plus efficace car plus adaptée à la morphologie du corps si l'on peut maîtriser la pression et le débit (pompes électriques). Un drainage veineux – remplacement du sang par le produit injecté – est effectué soit simultanément soit par intermittence. Souvent, il a lieu par la veine proche de l'artère injectée : par exemple, si l'on injecte par la carotide droite, on drainera par la veine jugulaire droite. Le sang est poussé à travers le système vasculaire par la pression du fluide injecté et par gravité. De plus, même s'il arrive qu'une petite quantité de fluide passe dans le système veineux et soit aspirée, la majorité du liquide pénètre par diffusion passive dans les tissus, qui seront alors conservés. En général, on ne peut dépasser quatre litres de liquide aspiré (sang et autres) comparé à une injection allant de sept à dix litres suivant le sujet. Cette différence est due à la coagulation du sang après le décès ou à sa séquestration dans la microcirculation. La même démarche s'impose pour la cavité abdominale : le drainage des différents liquides et gaz contenus et ensuite l'injection au niveau péritonéal sont effectués à l'aide d'un trocart relié à une pompe. Le mélange doit être cette fois plus concentré car il sera naturellement dilué dans la cavité ; la quantité injectée est inférieure à deux litres.

Tableau II - Brevets existants traitant des agents de conservation utilisés en thanatopraxie.

Les sigles dans les références correspondent aux pays : US pour les États-Unis, F pour la France, RU pour la Russie et WO pour un brevet mondial.

Années	Principe actif	Références
1964	formol	US 3, 293, 127
1965	lactones	F 1, 457, 037
1971	hématoxyline + (CH ₃) ₂ SO	US 3, 852, 418
1973	formol	F 7344855
1975	chlorure de zinc	US 3, 862, 300
1975	formol + glutaraldéhyde	US 3, 912, 809
1981	ammoniums quaternaires	US 4, 263, 278
1992	hydantoïne + alum	US 5, 091, 174
1995	dialdéhyde	US 5, 429, 797
1995	glutaraldéhyde + alcool (A3F)	WO 95/15080
1996	glyoxal	US 5, 998, 483
1996	peroxyde de dialcylcéton	WO 96/28024
1997	glutaraldéhyde	US 5, 827, 511
1997	butanedialdéhyde + glyoxal	US 5, 622, 696
1997	butanedialdéhyde	US 5, 977, 153
2000	diéthylacétal	RU 2116725
2003	acide ascorbique + acide citrique + carbonate de sodium + bisulfate de sodium	US 6, 601, 275
2003	composés iodés (sans aldéhyde)	US 20030206884
2004	éthanedial (sans formol)	WO 04/093541

Tableau I - Produits d'embaumement commercialisés.

Nom du produit	Société	Agents principaux
Solution Winckler	-	formol + phénol
Arthyl 26	Hygéco (F)	formol
Thanyl 22	Hygéco (F)	formol
Formoltel B	Raffault (F)	formol
Stimagel	Raffault (F)	formol
Thermobalm Artériel	Bondol (US)	formol
Arterial 24 Alpha factor	Champion (US)	multialdéhydes (sauf formaldéhyde)
Peer	Esco (US)	formol
Polar	Esco (US)	formol

Tableau III - Toxicité du formol en fonction de l'exposition.
Sources : ACGIH : Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices, 6th ed, Am. Conference of Govt Ind. Hyg., Inc., Cincinnati, OH, 1991 ; *Poisonindex*, 2005.

a.	0,8 ppm	seuil de détectabilité sensorielle
b.	1 à 2 ppm	seuil d'irritation léger
c.	2 à 3 ppm	irritation ORL et oculaire
d.	4 à 5 ppm	irritation des muqueuses et larmoiement
e.	10 à 20 ppm	toux, sensation de brûlure sévère
f.	50 à 100 ppm	dommage sérieux lors d'une exposition de 5 à 10 min.

Vient alors le soin esthétique qui consiste à modeler le visage avec du coton, à coudre la mandibule au maxillaire (supérieur), et à placer des coquilles sous les paupières, qui restent de préférence fermées, afin de maintenir la convexité oculaire. Puis interviennent la manucure et le maquillage afin, d'une part, de toujours garder un aspect de semblant de vie et, d'autre part, de retarder la déshydratation.

Tout ceci dure environ une heure et à titre indicatif, coûte aux alentours de 250 à 350 euros.

Notons que des recherches en matière d'amélioration de méthode d'embaumement sont décrites et ont fait l'objet d'un récent brevet américain [18]. Elles ont pour but d'optimiser les conditions de préparation des corps et d'injection du produit, visant à limiter les fuites des fluides tant par les orifices naturels que par les incisions pratiquées lors de l'acte, afin de préserver la dignité des sujets.

Effets sur la santé du formol et autres aldéhydes

Comme nous venons de le voir, la plupart des produits aujourd'hui commercialisés contiennent du formol ou autres aldéhydes ou dialdéhydes du type glutaraldéhyde. Ces composés sont des antimicrobiens puissants à large spectre d'activité comprenant toutes les bactéries sous leurs formes végétatives. En effet, en tant qu'agents réducteurs, ils agissent sur les groupements aminés des protéines qu'ils dénaturent. D'un point de vue toxicité, ils sont très irritants et allergéniques.

La toxicité du formol est en fait due à celle du formaldéhyde. Ce dernier provoque l'irritation des yeux (avec ou sans larmoiement) et du nez, ainsi qu'une sécheresse buccale à de faibles concentrations (0,2 à 0,6 ppm) [4]. Sa valeur limite d'exposition professionnelle est de 1 ppm [19]. Sa toxicité est détaillée selon le niveau d'exposition dans le *tableau III*.

En ce qui concerne la réglementation, on peut consulter la circulaire du Ministère du Travail du 12/07/1993⁽⁶⁾.

L'action du formol est bactéricide, fongicide, virucide et sporicide et sur une étendue de pH variant de 3 à 8. Même à des concentrations inférieures à 1 % (une exposition cutanée avec une solution de 2 à 10 % peut engendrer des lésions dermiques sous forme de vésicules ou d'urticaire [20]), on détecte des effets irritants : des phénomènes de sensibilisation cutanée (qui se traduit par un eczéma) ou respiratoire (asthme) peuvent être observés. Le formol est un composé très toxique avec

des effets cancérigènes et mutagènes [21-22]. Les pouvoirs publics français et européens envisagent une réglementation très restrictive afin d'en limiter l'emploi. Mais cette réglementation est difficile à mettre en œuvre car de nombreuses industries utilisent cette molécule, comme les industries du plastique, des engrais, du cuir, du textile, du papier, des colorants, et on le trouve également dans certains produits cosmétiques.

Le glutaraldéhyde, en solution concentrée, est fortement irritant pour la peau et les muqueuses, et il peut être responsable de phénomènes allergiques cutanés et respiratoires. De plus, il est cancérigène, mutagène et cytotoxique [23-24]. Les nouvelles réglementations interdisent son utilisation car il serait plus toxique que le formol.

Dans les paragraphes suivants, nous proposons des alternatives à ce type de composés, engendrant une toxicité moindre.

Problématique et cahier des charges

Les recherches en matière de nouveaux fluides d'embaumement, injectés par voie artérielle, sont toujours d'actualité et se sont inspirées des matières premières et substances naturelles que les Égyptiens utilisaient autrefois : natron, tannins végétaux... [25-27].

De nos jours, le formaldéhyde reste le conservateur le plus efficace et le plus utilisé, mais il émet des vapeurs très irritantes et toxiques pour l'utilisateur et l'environnement [25]. De plus, il a tendance à rigidifier les tissus et à les décolorer, rendant également un aspect grisâtre au corps [28]. Il convient de trouver des substituts et de nouvelles voies de formulation afin de réduire la toxicité des mélanges employés, tout en maintenant leur efficacité.

L'objectif principal est donc de supprimer dans les mélanges d'embaumement les composés toxiques, comme le formaldéhyde ou les dialdéhydes, au profit de composés actifs tout aussi efficaces et non ou très peu toxiques.

Cahier des charges et composition

Rappelons que le rôle de la thanatopraxie est de conserver et fixer les tissus du cadavre en les protégeant des attaques antimicrobiennes, de retarder la dessiccation du corps, et de maintenir un aspect esthétique correct du défunt.

Les différentes propriétés et qualités d'usage requises du fluide d'embaumement se traduisent en terme de formulation par l'intégration des agents suivants (les propriétés et composés associés sont répertoriés dans la *figure 3*) :

- conservateurs : ce sont les agents actifs de la formule (voir paragraphe suivant) ;
- anticoagulants : ils permettent de fluidifier le produit (exp. : chlorure de sodium, citrate de sodium) ;

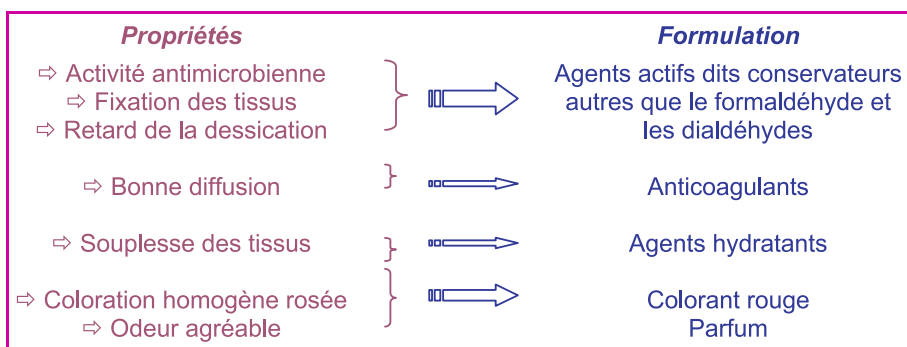


Figure 3 - Propriétés requises et formulation associée pour un fluide d'embaumement.

- hydratants et humectants : ils permettent eux aussi de ralentir la dessiccation du corps en hydratant les tissus et en les rendant donc plus souples (exp. : glycérine, éthylène glycol, propylène glycol, hexylène glycol, urée) ;
- tensioactifs : ils permettent au fluide de s'adsorber et de mieux pénétrer dans les membranes, d'une part, et de solubiliser éventuellement les autres composés présents dans le mélange. Il est intéressant d'utiliser des tensioactifs cationiques puisque les faces externes de membranes cellulaires formant les tissus ont un caractère anionique et parce que certains possèdent également des propriétés antimicrobiennes comme les ammoniums quaternaires ;
- colorants : il faut que le fluide soit proche de la couleur du sang afin de restituer au sujet un teint le plus naturel possible. Les colorants naturels sont rarement employés car ils sont trop onéreux et l'on utilise des colorants synthétiques comme l'éosine, l'érythrosine ou des colorants alimentaires ;
- parfums : ce sont généralement des extraits de fleurs comme la rose, le lilas, ou des parfums synthétiques (esters aromatiques avec des notes assez fraîches type eucalyptus).

Caractéristiques d'un fluide d'embaumement

Le fluide doit répondre à des caractéristiques qui lui sont propres :

- ⇒ une viscosité proche de celle du sang (très faible, similaire à l'eau), car il faut que le fluide puisse diffuser parfaitement à travers les artères ;
- ⇒ un pH variable selon les composés entrant dans la formulation ; les aldéhydes seront plutôt actifs à des pH basiques, tandis que le chlorure de zinc le sera à pH acide ;
- ⇒ l'isotonie du mélange : dans ces conditions, il convient d'ajouter du chlorure de sodium à une concentration proche de 9 g.L^{-1} . Cette propriété est importante car la diffusion du fluide dans les tissus et les cellules est ainsi constante, impliquant une bonne pénétration en présence de solutions iso-osmotiques. Ceci évite par la suite le gonflement et la lyse (destruction) des cellules mortes.

Agents de conservation : pistes de recherches actuelles et perspectives

Ce paragraphe porte plus particulièrement sur de nouveaux agents de conservation qui permettraient de répondre au mieux au cahier des charges. Certains composés sont connus et décrits dans des brevets, d'autres proviennent de secteurs d'activité différents dans lesquels les propriétés des composés pourraient être transposables à notre application. Nous avons ainsi recensé cinq groupes d'agents de conservation.

Sels de métaux

Leurs propriétés en tant qu'agents conservateurs sont déjà connues et reconnues.

Le chlorure de zinc, ZnCl_2

Il est utilisé seul comme conservateur dans les laboratoires d'anatomie, donne de bons résultats et est aussi très bon marché. Cependant, l'aspect esthétique des sujets anatomiques n'est pas très satisfaisant puisqu'il produit une coloration grisâtre et un manque de souplesse des tissus après injection. L'idée serait de lui associer d'autres composés permettant de compléter son action « conservatrice » et

antimicrobienne et de modifier ses propriétés lors de l'injection par des agents humectants, tensioactifs, colorants...

Le chlorure de zinc est le plus actif des sels de zinc et est utilisé très fréquemment en histologie comme fixateur de tissus efficace et doté d'un fort pouvoir de pénétration, notamment pour traiter les maladies de la peau, les cancers des os ou de la peau [29-32]. Dans ce cas, il est utilisé en chirurgie sous forme de pâte qui pénètre rapidement dans les tissus dévitalisés et cancéreux [32-33]. La plupart du temps, il a été employé comme additif dans les solutions de conservation avec des aldéhydes ou des alcools, mais son utilisation comme principal fixateur est assez nouvelle et a fait l'objet d'études approfondies donnant des résultats satisfaisants [29].

C'est donc un bon agent fixant qui peut trouver sa place comme agent principal de conservation dans des fluides de conservation.

Caractéristiques et toxicologie

Le chlorure de zinc est un sel très déliquescent et hygroscopique, fixant progressivement l'eau et formant des solutions acides ($\text{pH} = 4$). Il a une action caustique et corrosive sur la peau [34] ; de plus, il a des propriétés astringentes, antiseptiques, désinfectantes et fixantes sur les tissus. Sa valeur limite d'exposition professionnelle est de 1 mg.m^{-3} en France (fumées de chlorure de zinc) [35].

Par ailleurs, des affections cutanées plus sévères ont été observées (ulcération au niveau des doigts et de la main, sévères brûlures) [34].

D'autre part, il ne pose pas de problème pour l'environnement, contrairement aux autres sels de métaux longtemps utilisés à base de plomb, de cuivre, de mercure... [36, 37].

Autres applications

Le chlorure de zinc possède de nombreuses autres applications comme absorbant dans les pompes à chaleur et machines frigorifiques, catalyseur dans la synthèse chimique, désodorisant ou neutralisant d'odeurs, conservateur alimentaire, additif dans les processus de valorisation du charbon, désensibilisateur pour les dents, mordant dans les teintures pour textiles, en électrochimie pour la galvanisation de métaux, et dans d'autres industries comme celles du papier, des encres, des colles, des colorants, des ciments...

Le sulfate d'aluminium, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

Utilisé également comme agent de conservation, pour préserver les compositions florales par exemple [38], il n'a en revanche pas d'application particulière dans le domaine de l'anatomie, en particulier en histologie (comme c'est le cas du chlorure de zinc).

Caractéristiques et toxicologie

Ce sel est en partie soluble dans l'eau (solution aqueuse acide), mais insoluble dans l'alcool. Sa formulation sera donc plus délicate puisque l'alcool est un solvant très intéressant pour les fluides d'embaumement.

Il possède des propriétés anti-infectieuses, coagulantes, floculantes (traitement des déchets de l'eau) [39], tannantes, et reste relativement bien toléré [40].

En ce qui concerne la santé humaine, étant donné le manque considérable de données sur ses effets, une conclusion définitive quant à la « toxicité » ou la « non-toxicité » de cette substance n'a pas pu être formulée⁽⁷⁾.

Autres applications

Ce sel est utilisé comme additif dans de nombreux autres secteurs d'activités tels que les industries du textile, des colorants, du cuir, du papier ou des adhésifs.

L'hydrate de chloral [41-44]

Le chloral ou trichloroacétaldéhyde, $\text{CCl}_3\text{CH}(\text{OH})_2$ sous sa forme hydratée, était déjà employé il y a quelques temps sous le nom de solutions de Winckler dans des solutions d'embaumement des laboratoires d'anatomie. En effet, l'hydrate de chloral formulé à 20 % (en masse) dans ces mélanges est un aldéhyde, ayant donc des propriétés « conservatrices » et fixantes de par sa fonction carbonyle.

Ce produit est utilisé depuis longtemps en médecine, mais aucune étude toxicologique contrôlée sur des sujets humains n'a été publiée. Il est utilisé dans les sirops, notamment en gériatrie et pédiatrie. Il possède alors des propriétés hypnotiques, anesthésiantes, soporifiques et sédatives (l'hydrate de chloral a été le premier soporifique synthétique).

Ce composé semble donc être intéressant pour l'application recherchée.

Composés ayant fait l'objet de brevets

Diéthylacétal

Le diéthylacétal ou 1,1-diéthoxyéthane, $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OC}_2\text{H}_5)_2$, a fait l'objet d'un brevet russe [14]. Ce composé est le principal agent conservateur formulé à 30-33 % dans une solution d'embaumement. Il est associé à des tannins à des concentrations de 7 à 9 % et au carbonate de potassium, lui aussi utilisé dans le tannage et qui engendre une action décapante.

Après injection, il apparaît une couleur naturelle ainsi qu'un gonflement correct des tissus, avec une absence de toxicité (il possède aussi des propriétés hypnotiques). Ce composé présente donc un intérêt pour notre application.

Glyoxal

Le glyoxal, OCHCHO , est un dialdéhyde utilisé dans des fluides d'embaumement brevetés [9]. Bien que sa nature puisse faire craindre le même genre de toxicité que celle du formaldéhyde ou du glutaraldéhyde, son utilisation se justifie par les arguments suivants :

- Le glyoxal est un conservateur très satisfaisant en n'étant formulé qu'à 4 % dans les fluides brevetés [9].
- Les qualités de fixation et antiseptiques des dialdéhydes semblent être dissociées de leur toxicité [7]. Le pouvoir fixateur et les capacités antiseptiques sont le fait des fonctions aldéhydes, mais la toxicité paraît dépendre du nombre d'atomes du squelette séparant les deux fonctions carbonyle. Gerald Camiener [7] distingue ainsi les dialdéhydes à squelette impair, toxiques, des dialdéhydes à squelette pair, beaucoup moins toxiques (figure 4).

Si le glyoxal ne peut être classé selon cette méthode ni en squelette favorable, ni défavorable (puisque son squelette est nul), sa réactivité et sa toxicité lui confèrent des similitudes avec les dialdéhydes à squelette favorable [7]. C'est donc un composé intéressant à tester.

Acides et sels

Plus récemment, Blake [15] a décrit une composition originale d'embaumement non toxique pour l'utilisateur et son environnement puisqu'elle contient acide ascorbique, acide citrique, carbonate et bisulfite de sodium formulés en quantités égales dans des proportions allant de 10 à 40 %. C'est par une action synergique entre les différents constituants que de bons résultats ont été observés sur la conservation de tissus animaux. Cette piste semble intéressante à approfondir.

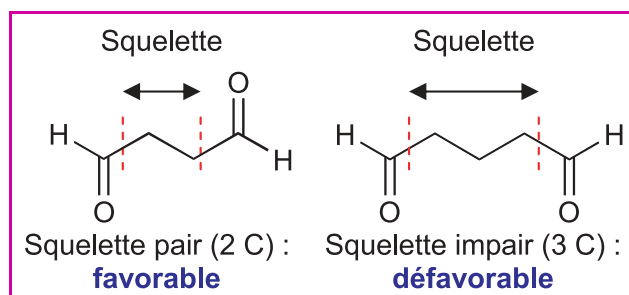


Figure 4 - Critère de sélection entre dialdéhydes (selon G. Camiener [7]).

Dérivés iodés

Barrow a lui aussi décrit une composition originale d'un fluide ayant des propriétés pseudoplastiques et sans aldéhyde [16]. L'agent de conservation est un désinfectant iodé non toxique (les réactions allergiques dues à des désinfectants iodés sont rares dans la littérature [45]). Il s'agit préférentiellement de polyvinylpyrrolidone-iode formulé à de faibles quantités (de 0,05 à 2 %) et associé à des additifs relativement classiques.

Libérateurs de formol

L'efficacité du formol étant largement prouvée, il était naturel de s'intéresser à des molécules dites libératrices de formol qui génèrent le formol *in situ*, et dont l'utilisation permettrait de diminuer la toxicité des produits.

Des études en interne sur la cinétique de décomposition du quaternium 15 (isomère *cis* du chlorure de 1-(3-chloro-allyl)-3,5,7-triaza-1-azonium-adamantane, $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{ClN}_4\text{CH}_2\text{CH}(\text{CHCl})$) et sur le dosage du formol relargué par chromatographie HPLC ont été réalisées. En effet, cette molécule libère par hydrolyse du méthylène glycol ($\text{CH}_2(\text{OH})_2$) qui, du fait de son instabilité, se décompose en formaldéhyde et en eau, donc en formol.

Il s'avère que les quantités de formol sont très faibles et que les temps de relargage sont trop longs pour l'application qui nous concerne. Cette voie semble tout de même intéressante et pourrait être approfondie en optimisant les conditions d'utilisation ou en s'orientant vers d'autres molécules libératrices de formol.

Agents tannants

La stratégie utilisant de tels composés mérite d'être examinée puisque dans l'industrie du cuir, les agents tannants permettent de rendre la matière plus résistante, par la transformation de la peau en cuir. En effet, il y a formation de liaisons entre le composé tannant (groupements carbonyle réactifs) et les protéines (aminoacides) de la peau. Il y a donc création de ponts entre les fibres de collagène, selon la réaction de Maillard, engendrant une protection contre l'attaque antimicrobienne.

Notons que le formaldéhyde, comme la plupart des aldéhydes, a des propriétés tannantes, expliquant aussi son action « conservatrice ».

Dans l'industrie du cuir [46-48], les composés les plus couramment utilisés depuis longtemps sont les sels de chrome, mais ils sont toxiques, l'industrie du tannage étant l'une des plus polluantes (de nombreuses étapes constituent le cycle de tannage : trempage, lavage...). On utilise également, mais relativement moins souvent, les sels de cuivre,

d'arsenic, l'acide borique, les composés phénoliques, les tannins végétaux (châtaignier, mimosa, quebracho... en solution aqueuse) et également des sels d'aluminium (notamment le sulfate d'aluminium cité précédemment). Parmi eux, les sels d'aluminium sont intéressants dans le cas des fluides de conservation compte tenu de leur faible toxicité.

Tannins végétaux

Les tannins végétaux sont issus de l'écorce de plantes et d'arbres comme le mimosa, le chêne et l'acacia. Ils jouent le rôle de conservateur du bois [49-50] (augmentation de la résistance face aux intempéries), avec des propriétés surtout antifongiques [51]. On retrouve également les tannins dans le vin (sous forme condensée : polyphénols) dans lequel on détecte leur propriété astringente par le goût.

D'une manière générale, lorsque l'on parle de tannin, il s'agit d'acide tannique, $C_{76}H_{52}O_{46}$, que l'on peut trouver dans le commerce. Dans des formulations destinées à traiter le bois pour le préserver [50], il est utilisé dans des milieux aqueux à des concentrations comprises entre 1 et 10 %. Il est d'ailleurs associé à des sels métalliques, de zinc et d'aluminium, de concentrations variant de 1 à 10 %. De tels mélanges engendrent de bons résultats au niveau de la conservation. L'acide tannique semble être un composé tout à fait aisé d'utilisation et doté des qualités requises pour l'introduire dans des mélanges d'embaumement.

Dérivés de sucres

L'intérêt pour les oxopolysaccharides [52-53], dérivés de sucres avec une ou plusieurs fonctions carbonyles libres, provient d'études faites suite à la découverte d'un homme retrouvé mort dans des marécages aux États-Unis. En effet, ce corps, parfaitement conservé depuis 2 000 ans, a permis de valoriser les propriétés conservatrices et antimicrobiennes de la tourbe. Les analyses ont montré que les tissus étaient tannés, expliquant donc que des agents tannants sont à l'origine de cette conservation. Contrairement à ce que l'on pourrait penser, ce ne sont pas des polyphénols mais un glycuronoglycane contenant des résidus de l'acide 5-céto-D-mannuronique, $C_6H_8O_7$, qui est responsable de ce tannage. Cet acide possède deux formes dont une seule est active, à savoir la forme furanose. Cette dernière est très instable car elle se décompose spontanément en dioxyde de carbone avec formation d'un polymère brun ressemblant au caramel, et reste difficile à isoler. Les propriétés de la tourbe sont ainsi utilisées pour conserver les poissons [53].

En revanche, l'activité de ces composés est à rapprocher de celles des oxopolysaccharides, bien connus pour leurs propriétés tannantes et antimicrobiennes (en milieu acide) puisqu'ils comportent de nombreux groupements aldéhyde. Mais ce type de molécules n'existe pas dans le commerce sous forme oxydée ; il faut donc oxyder les polymères qui ont eux-mêmes un coût assez élevé.

Syntans

Rhodia a déposé un brevet anglais [54] concernant des compositions de tannage ne posant pas de problèmes environnementaux, comportant différents sels (phosphonium et aluminium) et des composés appelés « syntans ». Le terme de syntan englobe les résines syntans qui sont des homopolymères et copolymères d'acides carboxyliques insaturés ou leurs sels comme les acides acrylique, méthacrylique, crotonique... et les acrylamide, acrylonitrile... formulés de 3 à 6 %. On peut également utiliser les polymères tels que

les polyacrylates, polyméthacrylates de masses molaires moyennes comprises entre 3 000 et 100 000 $g \cdot mol^{-1}$.

En ce qui concerne les types de polymères cités, le polyméthacrylate de méthyle (PMMA) est très utilisé dans les biomatériaux car il est non toxique et biodégradable. En vertu de ses propriétés adhésives, il a notamment des applications dans les implants dentaires, les ciments et les réparations orthopédiques.

Cependant, leur formulation n'est pas évidente car ils sont solubles dans certains solvants comme le THF, mais pas dans des solutions hydroalcooliques comme les mélanges d'embaumement. Ils peuvent engendrer des augmentations de la viscosité, qui doit cependant rester proche de celle de l'eau dans notre cas (viscosité très faible, inférieure à 1 Poise). De plus, leur coût n'est pas négligeable. L'idée d'introduire des polymères pour créer des ponts avec les chaînes polypeptidiques afin de fixer les tissus est tout de même intéressante.

Le polyhydroxyéthylméthacrylate (PHEMA) est un polymère hydrophile qui forme un hydrogel compatible avec le sang et possède de nombreuses applications biomédicales. Il serait donc possible de l'utiliser à une faible concentration (pour limiter l'augmentation de viscosité) dans nos mélanges, mais le coût reste également très élevé, comme pour le PMMA.

On peut aussi envisager les acides acrylique (stabilisé pour éviter toute polymérisation) et crotonique (utilisé dans les laques, adoucissants et en chimie médicinale). En solution sous leur forme carboxylate, ils peuvent créer des ponts avec les chaînes polypeptidiques des tissus de collagène, jouant ainsi un rôle de fixateur.

Dihydroxyacétone ou DHA

Le groupe L'Oréal a déposé un brevet américain [55] concernant la formulation d'autobronzants, qui ont une action tannante sur la peau (coloration brune). La composition est à base de DHA (dihydroxyacétone, $HOCH_2COCH_2OH$) formulée à une concentration de l'ordre de 3 à 6 %. L'activité tannante de cette molécule est due à la fonction cétone (présence d'un groupement carbonyle).

De plus, les résultats montrent que la coloration jaunorange que l'on obtient apparaît après trois heures et présente un aspect assez naturel. Cette molécule utilisée dans le secteur cosmétique semble intéressante pour l'application visée. Cependant, elle présente un coût très élevé par rapport au formol.

Tannage quinonique

Des études portant sur la présence d'agents tannants dans les biomatériaux naturels présents dans les pièces squelettiques des mollusques ont été réalisées [56]. Il a été mis en évidence un tannage quinonique par l'acide 2,4-quinolinedicarboxylique de formule brute $C_{11}H_7NO_4$. Cette piste peut être intéressante, cependant son prix semble élevé par rapport au formol.

Autres composés

D'autres composés, dont le mode d'action diffère de ceux rencontrés précédemment, peuvent présenter des propriétés de conservation intéressantes pour la formulation de fluides d'embaumement.

Composés époxydes

Des études portant sur la fixation de bioprothèses, dérivées de tissus de collagène, pour des implants sur des humains ont été entreprises [57]. Les auteurs ont testé et comparé le glutaraldéhyde à de nouveaux fixateurs : des composés époxydes.

Il s'avère que les tissus traités avec ces derniers sont plus souples et dotés d'une couleur plus naturelle que ceux traités avec le dialdéhyde. De plus, le choix de composés monoépoxydes, tels que le méthyl glycidyl éther (ou 1,2-époxy-3-méthoxypropane, $C_4H_8O_2$), donne lieu également à de meilleurs résultats que les composés époxydes multifonctionnels (les concentrations sont de l'ordre de 4 %).

Ces composés sont relativement bien tolérés mais leur coût est très élevé.

Anhydride de diméthylol glycine

L'anhydride de diméthylol glycine, ou 1,4-bis(hydroxyméthyl)-2,5-piperazinedione, $C_6H_{10}N_2O_4$, possède de nombreuses applications en tant que biocide et conservateur, et notamment dans des solutions d'embaumement [58].

Ce composé ne pose pas de problème quant à sa toxicité car il est présent dans des compositions cosmétiques, des produits pharmaceutiques... Son coût reste élevé.

Liquides ioniques

Les liquides ioniques représentent une classe de sels organiques qui, à l'état pur, sont sous forme liquide à température ambiante. Certains sont composés de cations organiques type ammonium quaternaires ou imidazolium et de composés aromatiques ou non.

Ces liquides présentent de nombreux intérêts puisqu'ils ont une faible toxicité, sont de bons solvants, ne dégagent pas de COV (composés organiques volatils), sont souvent considérés comme des « solvants verts » car ils peuvent être recyclés, et sont peu onéreux. Ils représentent donc une bonne alternative au formaldéhyde et ont fait l'objet d'études pour l'application concernée [59]. Ajoutons que dans le cadre des recherches en chimie verte, on assiste en ce moment à un énorme développement de ces substances.

Plusieurs composés ont été testés sur des tissus animaux, en parallèle avec des solutions de formaldéhyde. De très bons résultats ont été observés avec le 1-méthyl-3-octyl-oxyméthyl-imidazolium-tétrafluoroborate, $[(C_5H_{11}OCH_2)MIM]BF_4$, à savoir une absence de décomposition, une bonne odeur et une coloration inchangée. Ces liquides ioniques présentent donc un fort potentiel pour être utilisés dans des fluides d'embaumement et méritent que l'on s'intéresse à eux pour de futures investigations.

Conclusion

Cette mise au point bibliographique avait pour but de broser un tableau sur le domaine de la thanatopraxie, et en particulier de mettre l'accent sur les problèmes de toxicité du formol, utilisé dans la plupart des fluides d'embaumement actuels.

Nous avons tenté de proposer des alternatives ou des substituts potentiels à ce composé toxique et présentant des actions conservatrice, fixante et antimicrobienne de la manière suivante :

- D'une part, en évoquant les travaux effectués et brevets déposés dans ce domaine : des pistes intéressantes, originales et de moindre toxicité, ou même sans toxicité, ont

été présentées, comme l'utilisation du diéthylacétal, liquides ioniques et acides. De nombreuses formulations pourraient ainsi être testées.

- D'autre part, en proposant des voies originales de composés pouvant venir d'autres secteurs d'activité (transfert de technologie) ou ayant un mode d'action similaire : c'est le cas des agents tannants pouvant provenir de l'industrie du cuir ou de la cosmétique.

Ainsi, la recherche de nouveaux produits d'embaumement avec des agents de conservation non toxiques autres que le formol est plus que jamais d'actualité et de nombreuses pistes intéressantes méritent d'être exploitées.

Notes

- (1) Liste exhaustive sur le site www.thanatopraxie.com
- (2) Source : INSEE.
- (3) Selon l'article R361-13.
- (4) Décret 76-435 du 18/05/1976 paru au J.O. du 20/05/1976.
- (5) Code général des collectivités locales, articles R 363-1, 2 et 3.
- (6) Articles L.461-1, L.461-4 et L.461-6 du code de sécurité sociale (http://www.sante.gouv.fr/amiante/connaitre/reglementation/france/code_secu/loimp.htm).
- (7) D'après la loi canadienne sur la protection de l'environnement, LCPE 1999.

Références

- [1] Sussingham R., The chemistry of embalming, *Chemistry*, Spring **2000**.
- [2] Revolzimmermann L., *La thanatopraxie en France*, thèse de doctorat en médecine, Université de Nancy 1, **1986**.
- [3] Bouchet A., L'embaumement et la conservation des cadavres humains au cours des siècles, *Lyon Médical*, **1972**, 227, p. 1, 9.
- [4] *Dossier médico-technique 104TC 105*, INRS, 449-469, **2005**.
- [5] Campbell J.W., Margrave J.L., Anatomical and biological preservative and improved embalming composition and method, US Patent, **1995**, WO 95/15080.
- [6] Campbell J.W., Margrave J.L., Preservative and embalming fluid, US Patent, **1997**, US 5, 827, 511.
- [7] Safe dialdehydes useful as embalming agents, US Patent, **1997**, US 5, 622, 696.
- [8] Camiener G.W., Solid aldehyde and antimicrobial compositions useful as fixatives, preservatives and embalming agents, US Patent, **1997**, US 5, 977, 153.
- [9] Camiener G.W., Glyoxal-containing preservative compositions, US Patent, **1996**, US 5, 998, 483.
- [10] Dunphy B., Formaldehyde-free aqueous tissue preservation compositions, WO Patent, **2004**, WO 2004093541.
- [11] Jimenez Collado J., Arene Rada E., Chavez Inzunza R., Compositions containing dialkyl (C1-C6) ketone peroxide for the preservation of organic tissues, and application of said compositions to the preservation and anatomical preparation of organic tissues of animal or human origin, US Patent, **1996**, US 5, 968, 497 ; WO 96/28024.
- [12] Lemberger W.A., Preservative for biological specimens, US Patent, **1992**, US 5, 091, 174.
- [13] Wertlake P.T., Harrison J. S., Histological fixative, US Patent, **1975**, US 3, 862, 300.
- [14] Tikhonov B.V., Gaivoronskii I.V., Starchik D.A., Solution for embalming providing recovery of natural color and turgor of early altered tissues, Russian Patent, **2000**, RU 2116725.
- [15] Blake W.C., Simonelli R.A., Method and composition for embalming, US Patent, **2003**, US 6601275.
- [16] Barrow D.C.J., Embalming fluid vegetable polymer disinfectant; iodine cellulose ether pseudoplastic embalming fluid, US Patent, **2003**, US 20030206884.
- [17] Randy Hanzlick M.D., Embalming, body preparation, burial, and disinterment, *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology*, **1994**, 15(2), p. 122.
- [18] Adkins M., Method and apparatus for preventing leakage of bodily fluids and other fluids during embalming to preserve the dignity of the deceased during memorial services, US Patent, **2004**, US 20040064926.
- [19] Puymérail F., *Les activités de thanatopraxie : état des pratiques et analyse des risques. Mémoire de diplôme d'ingénieur CNAM en sécurité du travail*, CNAM, Paris, **2004**.
- [20] Casteel S.W., Vernon R.J., Bailey E.M., Formaldehyde: toxicology and hazards, *Vet. Human Toxicol.*, **1987**, 29, p. 31.
- [21] *Aldéhyde formique et solutions aqueuses, Fiche toxicologique n° 7*, INRS, **1997**.
- [22] Ngokere A.A., Ofordile P.M., The toxicity, mutagenicity and carcinogenicity of formaldehyde used in histology and histochemistry: a review, *Biomedical Research*, **2003**, 14(2), p. 166.
- [23] *Glutaraldéhyde, Fiche toxicologique n° 171*, INRS, **1992**.

- [24] Ranier E., Burnside J., Glutaraldéhyde: You don't have to spell it ; but you do have to know about it, Part 1, 117th NFDA Annual Convention, Boston, MA, **1998**.
- [25] Saeed M., Rufai A.A., Elsayed S.E., Mummification to plastination, *Saudi Med. J.*, **2001**, 22(11), p. 956.
- [26] Wissemann S., Preserved for the afterlife, *Nature*, **2001**, 413, p. 783.
- [27] Buckley S.A., Evershed R.P., Organic chemistry of embalming agents in Pharaonic and Graeco-Roman mummies, *Nature*, **2001**, 413, p. 837.
- [28] Groscurth P., Egli P., Kapfhammer J., Rager G., Hornung J.-P., Fasel J.D.H., Gross anatomy in the surgical curriculum in Switzerland: improved cadaver preservation, anatomical models, and course development, *The Anatomical Record*, **2001**, 265(6), p. 254.
- [29] Beckstead J.H., A simple technique for preservation of fixation-sensitive antigens in paraffin-embedded tissues, *J. of Histochem. and Cytochem.*, **1994**, 42(8), p. 1127.
- [30] Braun M., The case for Mohr's surgery by the fixed-tissue technique, *J. Dermatol. Surg. Oncol.*, **1981**, 7(8), p. 634.
- [31] Brooks N., Brooks L., Zinc chloride in treating skin diseases, WO Patent, **2000**, WO 00/48541.
- [32] Bennett R.G., Goldman M.P., Chemosurgical debridement of osteomyelitic bone by zinc chloride fixative, *J. Dermatol. Surg. Oncol.*, **1987**, 13(7), p. 771.
- [33] Mohs F.E., *Chemosurgery: microscopically controlled surgery for skin cancer*, Charles C. Thomas, Springfield, Il, **1978**, p. 21.
- [34] Mathis J., A propos de deux cas de brûlures par le chlorure de zinc dans un atelier d'enduction de film polyester, *Journal de Toxicologie Clinique et Expérimentale*, **1992**, 12(4/5), p. 333.
- [35] *Zinc et composés minéraux, Fiche toxicologique n° 75*, INRS, **2002**.
- [36] Renaud C.B., Nriagu J.O., Wong H.K.T., Trace metals in fluid-preserved museum fish specimens, *Sci. Total Environ.*, **1995**, 159, p. 1.
- [37] Dethloff G.M., Schlenk D., Hamm J.T., Bailey H.C., Alterations in physiological parameters of rainbow trout with exposure to copper and copper/zinc mixtures, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **1999**, 42, p. 253.
- [38] Knee M., Selection of biocides for use in floral preservatives, *Postharvest Biology and Technology*, **2000**, 18(3), p. 227.
- [39] Pinotti A., Zaritzky N., Effect of aluminium sulfate and cationic polyelectrolytes on the destabilization of emulsified wastes, *Waste Management*, **2001**, 21(6), p. 535.
- [40] Kinraide T.B., Reconsidering the rhizotoxicity of hydroxyl, sulphate, and fluoride complexes of aluminium, *Journal of Experimental Botany*, **1997**, 48(310), p. 1115.
- [41] Rising L.W., Lynn E.V., A toxicological investigation of chloral hydrate, *American Pharmaceutical Association*, **1931**, 20(1), p. 9.
- [42] Lehmann G., Knoefel P.K., Trichlorethanol, tribromethanol, chloral hydrate and bromal hydrate, *J. Pharmacol.*, **1938**, 63, p. 453.
- [43] Strumia E., Nuovi complessi del clorale idrato e loro impiego nella ipnotico-sedativa, *Minerva Medica*, **1968**, 59, p. 4348.
- [44] Carabelle R.W., Chloral hydrate, a useful pediatric sedative, *Am. J. Ophth.*, **1961**, 51, p. 834.
- [45] Pecquet C., Formation médicale continue clinique, allergie à l'iode, *Ann. Dermatol. Venerol.*, **2003**, 130, p. 795.
- [46] Cassano A., Molinari R., Romano M., Drioli E., Treatment of aqueous effluents of the leather industry by membrane processes, *Journal of Membrane Science*, **2001**, 181(1), p. 111.
- [47] Sekaran G., Shanmugasundaram K.A., Mariappan M., Characterization and utilisation of buffing dust generated by the leather industry, *Journal of Hazardous Materials*, **1998**, 63(1), p. 53.
- [48] Tünay O., Kabdasli I., Orhon D., Cansever G., Use and minimization of water in leather tanning processes, *Wat. Sci. Tech.*, **1999**, 40(1), p. 237.
- [49] Yamaguchi H., Okuda K., Chemically modified tannin and tannin-copper complexes as wood preservatives, *Holzforchung*, **1998**, 52(6), p. 596.
- [50] Lotz W.R., Hollaway D.F., Wood preservation, US Patent, **1988**, US 4, 732, 817.
- [51] Scalbert A., Antimicrobial properties of tannins, *Phytochemistry*, Review article number 63, **1991**, 30(12), p. 3875.
- [52] Painter T.J., Lindow Man, Tollund Man and other peat-bog bodies: the preservative and antimicrobial action of sphagnum, a reactive glycuronoglycan with tanning and sequestering properties, *Carbohydrate Polymers*, **1991**, 15, p. 123.
- [53] Borsheim K.Y., Christensen B.E., Painter T.J., Preservation of fish by embedment in *Sphagnum moss*, peat or holocellulose: experimental proof of the oxopolysaccharidic nature of the preservative substance and of its antimicrobial and tanning action, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, **2001**, 2(1), p. 63.
- [54] Jones C.R., Collins G.R., Tanning composition, GB Patent, **2001**, GB 2, 367, 301.
- [55] Allard D., Forestier S., Self-tanning cosmetic compositions, US Patent, **1998**, US 6, 399, 048.
- [56] Vovelle J., Les biomatériaux naturels de la coquille et des pièces squelettiques chez les mollusques et leur actualité, *Bull. Soc. Zool. Fr.*, **1993**, 118(3), p. 321.
- [57] H.-W. Sung, W.-H. Cheng, I.-S. Chiu, H.-L. Hsu, S.-A. Liu, Studies on epoxy compound fixation, *J. of Biomed. Mater. Res.*, **1996**, 33, p. 177.
- [58] Berke P.A., Rosen W.E., Glycine anhydride dimethylol as a biocide and preservative, US patent, **1993**, US 5, 707, 993.
- [59] Majewski P., Pernak A., Grzymislawski M., Iwanik K., Pernak J., Ionic liquids in embalming and tissue preservation, *Acta Histochemica*, **2003**, 105(2), p. 135.



L. Dessart



F. Benoît-Marquie



C.-L. Serpentine



A. Lattes

Laure Dessart¹

est responsable du Laboratoire des compatibilités chez Pierre Fabre Dermo-Cosmétique.

Charles-Louis Serpentine²

est docteur en chimie.

Florence Benoît-Marquie³

est maître de conférence en chimie.

Armand Lattes⁴

est professeur de chimie.

¹ Centre R & D Pierre Fabre Dermo-Cosmétique, Allée Camille Soula, 31320 Vigoulet-Auzil.

Courriel : dessart@club-internet.fr

² Tél. : 06 66 63 52 06.

Courriel : clserp1@cegetel.net

³ Tél. : 05 61 55 69 68.

Courriel : florence@chimie.ups-tlse.fr

⁴ Tél. : 05 61 55 68 08.

Courriel : lattes@chimie.ups-tlse.fr

« Comment ça marche ? »

Agroalimentaire, carburants, colles, cosmétiques, matériaux, peintures, pharmacie, produits d'entretien...

La rubrique de L'Actualité Chimique qui répond à vos questions sur la chimie de votre quotidien.

Proposez-nous vos sujets, vos projets d'articles...

Coordinatrice de la rubrique : Véronique Nardello-Rataj (Université de Lille)

Courriel : veronique.rataj@univ-lille1.fr - Tél./fax : 03 20 33 63 69.

