



Le doyen des Étudiants de France :

E. Chevreul

Des produits chimiques très recherchés : les acides gras pour la fabrication des bougies

La naissance de la lipochimie industrielle au cours du XIX^e siècle

Gérard Emptoz

O bjet à la fois familier, simple d'emploi et accessible à tous, la bougie est toujours présente dans notre monde contemporain. Réservee surtout à la célébration des anniversaires, à la décoration de nos maisons ou encore aux cultes, elle peut aussi servir d'éclairage de secours en cas de panne d'électricité. Alors, dans cette situation particulière, elle apparaît comme une sorte de retour sur une longue histoire, celle de l'éclairage domestique. Là, sous la dénomination de bougie stéarique, elle a joué un rôle remarquable. Issue de l'industrie des corps gras, cette bougie a nécessité la mise en œuvre de produits chimiques qui ont attiré toute l'attention des chercheurs et des industriels de la chimie au cours de l'époque concernée. C'est donc une étape particulière de l'histoire des produits chimiques qui sera évoquée ici.

Fabriquée à partir des composés de la famille chimique des acides gras ¹, dont l'acide stéarique est l'un des représentants les plus connus ², la bougie est apparue dans la première moitié du siècle dernier, et son succès a été très grand. Les événements qui marquent cette histoire quelque peu oubliée de nos jours montrent que, pour le domaine des objets à usage domestique, la bougie stéarique constitue un cas intéressant d'invention-innovation.

*Michel Eugène Chevreul (1786-1889).
Extrait de la Nature, 28 août 1886.*

LA FONDATION DE LA CHIMIE DES CORPS GRAS PAR M.-E.CHEVREUL

L'invention de la bougie stéarique est issue de recherches purement scientifiques. De ceux qui ont participé à ces travaux, le véritable fondateur de la chimie des corps gras, à partir de laquelle l'invention a été rendue possible, est Michel-Eugène Chevreul (1786-1889). Scientifique de premier rang dans l'histoire de la chimie française au siècle dernier, passionné pour les problèmes de son temps, autorité incontestée dans son domaine, Chevreul est toujours considéré comme le père fondateur de la lipochimie contemporaine³.

Une recherche sur la composition des graisses

Il convient ici de rappeler brièvement comment Chevreul a découvert les acides gras et leur nature. A l'époque où il a entrepris ses recherches, en 1811, on ne savait pas grand-chose sur ces produits naturels extraits depuis des siècles de nombreuses espèces animales et végétales, et qui avaient de multiples emplois, dont la fabrication des savons. C'est justement à partir d'un savon de potassium issu d'une graisse de porc que Chevreul réussit pour la première fois à obtenir, après une séparation très soignée, deux composés. Ces deux sels, traités par un acide, donnaient naissance à deux composés organiques. Chevreul nomma le solide « margarine », qu'il renomma ensuite acide « margarique », et le liquide « oléine », qu'il renomma acide « oléique »⁴. Ces premiers résultats, publiés en 1813, entamaient une série de recherches systématiques, poursuivies jusqu'en 1823, qui amenèrent Chevreul à découvrir que toutes les graisses animales étaient composées en quantités variables de trois acides gras : stéarique, « margarique » et oléique. Le résultat de ces travaux est la naissance d'un pan entier de la chimie organique.

L'analyse chimique était encore très limitée. Pour celle des composés organiques, elle venait d'être perfectionnée par Joseph-Louis Gay-Lussac (1778-1850) et son collègue Jacques Thénard (1777-1857), dont les travaux furent publiés en 1811 dans leur ouvrage *Recherches physico-chimiques*⁵. C'est dire combien la tâche de Chevreul était difficile, à une époque où les connaissances en chimie organique étaient extrêmement limitées.

Une recherche bien menée et très remarquable

Chevreul travaillait dans un excellent environnement scientifique, au laboratoire de chimie du Muséum d'histoire naturelle. Son directeur était Louis-Antoine Vauquelin (1763-1829), personnage de premier plan aussi bien en chimie qu'en politique. Il avait été nommé en 1804 professeur au Muséum, et Chevreul était son adjoint depuis 1810 comme aide-naturaliste⁶.

Chevreul mit au point un véritable programme de recherche sur d'autres corps gras, qui consistait à isoler les « principes immédiats », c'est-à-dire les composants de ces

mélanges naturels. La méthode passait par la préparation d'un savon, suivie d'une séparation en deux parties : l'une solide, l'autre liquide. Après décomposition acide de cette partie liquide, une distillation donnait un « volatil acide » (acide oléique pour l'essentiel) et le « principe doux de Scheele » c'est-à-dire la glycérine dont la présence va se révéler universelle dans les corps gras naturels⁷. La partie solide était traitée pour régénérer les acides gras qui étaient ensuite analysés.

Chevreul a ainsi découvert les acides stéarique, margarique⁸, oléique, butyrique, valérianique, caproïque, caprylique, l'alcool cétylique, la « cholestérine ». Il a aussi découvert que les substances d'un savon sont issues de la combinaison d'un alcali (base) avec un acide, et que tous les corps gras donnent naissance à des sels d'acides gras ou savons, et à de la glycérine. Il a pu ensuite déduire que les graisses étaient une combinaison d'acides gras et de glycérine, composés que l'on nomme des « esters » de nos jours. Ce sont des triglycérides d'acides gras.

En 1823 paraissait l'ouvrage qui rendit Chevreul célèbre dans la communauté scientifique nationale et internationale, *Recherches chimiques sur les corps gras d'origine animale*⁹, qui allait servir aux chimistes de la future industrie. Les acides gras devenaient désormais isolables, identifiables en vue d'une utilisation.

L'APPLICATION DES TRAVAUX DE CHEVREUL : L'INVENTION DE LA BOUGIE STÉARIQUE (1824)

Le chercheur est alors devenu inventeur. En effet, Chevreul a déposé le 12 juillet 1824 un brevet d'invention de quinze ans avec son illustre collègue Gay-Lussac, pour un « *Emploi dans l'éclairage des acides stéariques et margariques qu'on obtient dans la saponification des graisses, suifs, beurres et huiles*¹⁰ ».

Une concurrence scientifique stimulante

L'obtention par un moyen approprié d'un solide combustible pour fabriquer une bougie était bien un sujet de recherche. Ce brevet n'était pas le premier qui ait été déposé en ce domaine. Ainsi, en 1818, Henri Braconnot (1780-1855), professeur de botanique à Nancy, et un de ses collègues pharmacien dans cette même ville, F. Simonnin, avaient pris un brevet d'invention de cinq ans pour un « *Procédé de fabrication d'une matière analogue à la cire, appelée céromimême*¹¹ ». Braconnot avait tenté de faire une séparation des composants du suif de mouton à partir d'un solvant organique, l'essence de térébenthine, mais les résultats n'avaient pu déboucher industriellement.

L'alliance de deux grands scientifiques

Le fait que Gay-Lussac ait déposé un brevet avec Chevreul mérite une remarque. Polytechnicien, devenu en 1809 professeur de chimie à l'École polytechnique, cumulant de nombreuses fonctions au service de l'État, Gay-Lussac

L'éclairage domestique dans les années 1820

Jusqu'à l'apparition de la bougie stéarique au cours des années 1830, il existait plusieurs modes d'éclairage assez variés. Une présentation très succincte permet de préciser l'état des techniques, et d'indiquer les raisons de trouver un nouveau mode d'éclairage.

L'éclairage domestique de l'époque était essentiellement fondé sur l'utilisation de combustibles liquides ou bien solides. Dans les deux cas, on faisait appel à des matières grasses et à des cires, tous produits chimiques extraits de matières naturelles.

Lampes à huile

Avec les huiles, il s'agissait d'une technique fort ancienne. Les simples modèles de lampes à huile du XIX^e siècle fonctionnaient comme leurs ancêtres multiséculaires. La matière combustible pouvait provenir de différentes espèces végétales.

Cependant, un grand progrès avait été apporté vers la fin du XVIII^e siècle. Grâce aux travaux sur la combustion réalisés par des chimistes illustres, comme Lavoisier (1743-1794) et Meusnier (1754-1793), le physicien Argand (1755-1803) avait inventé en 1781 une lampe à huile à courant d'air, à cheminée de verre et à mèche tissée en forme de cylindre. Reprise peu après par Quinquet (1745-1803), imitée et aussi perfectionnée sous diverses formes, en particulier vers 1800 par Carcel, ce type de lampe, appelé quinquet, a représenté un réel progrès. Pour la première fois, les performances de la combustion de l'huile, et donc de la luminosité, étaient améliorées.

Chandelles de suif et bougies de cire

Avec les combustibles solides, il existait deux modes d'éclairage. Le plus répandu était la chandelle, constituée d'une mèche en fil de coton enveloppée par du suif (de bœuf ou de mouton), préalablement purifiés. Pour les utilisateurs, la chandelle présentait plusieurs inconvénients. La fusibilité de la matière grasse était grande, de sorte que le ramollissement de l'objet, par exemple en été, rendait la chandelle d'un usage peu pratique. Son odeur était désagréable, et de plus il fallait couper régulièrement la mèche (moucher la chandelle) durant la combustion, sinon l'intensité lumineuse s'affaiblissait notablement.

Nettement plus pratique était l'éclairage au moyen de la bougie de cire. Objet de forme simple et pratique, dont la fusibilité était très faible, d'une odeur agréable, la bougie de cire restait cependant un produit de luxe, car la matière première, de la cire d'abeille purifiée, ou encore du blanc de baleine, coûtait cher. Ce mode d'éclairage n'était donc réservé qu'à un nombre très limité d'utilisateurs.

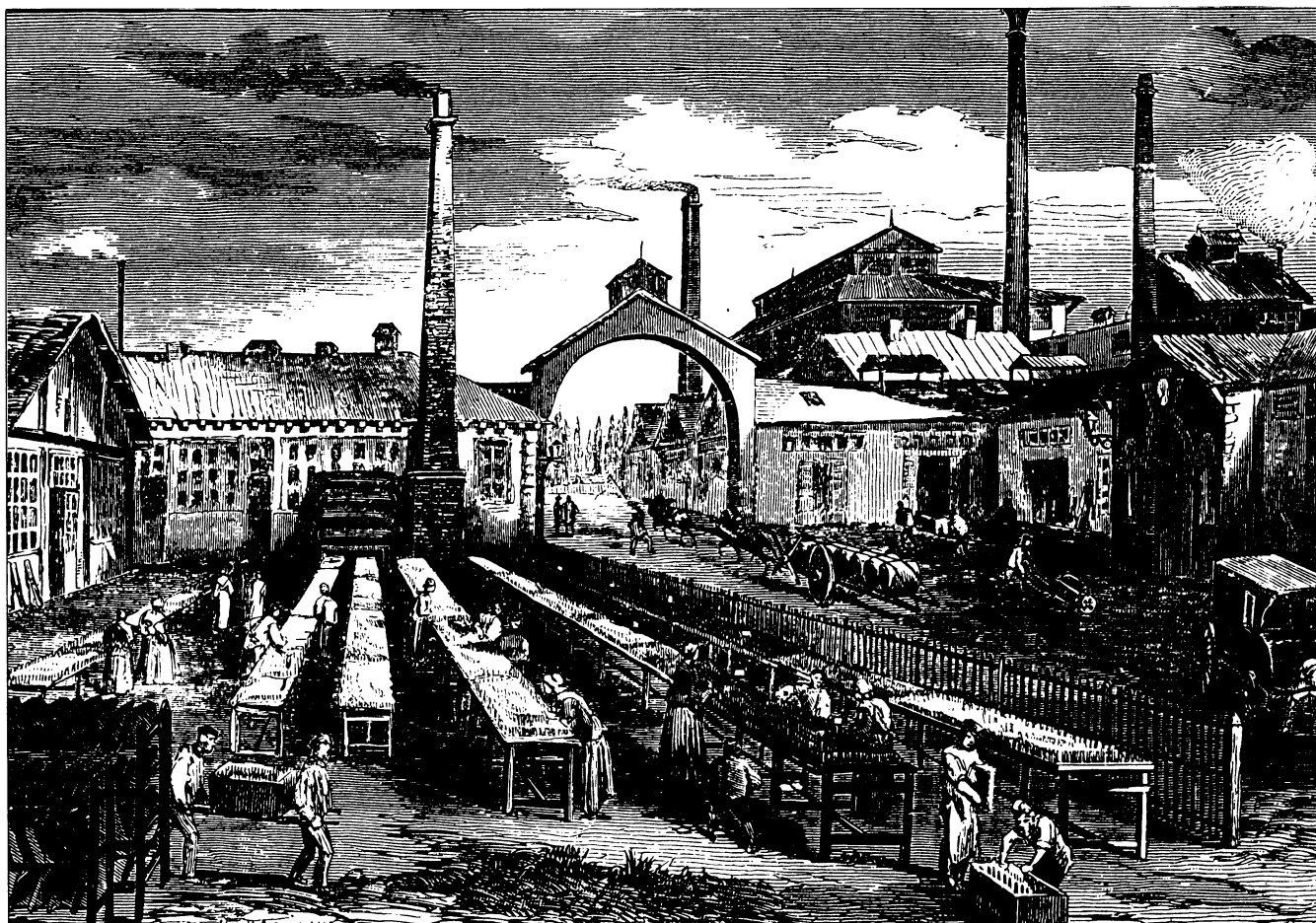
Enfin, on ne citera ici l'éclairage au gaz que pour mémoire. Encore dans l'enfance dans les années 1820, il était réservé à l'éclairage collectif. Ce n'est que bien plus tard, dans la deuxième moitié du siècle, que l'éclairage au gaz a pénétré en milieu urbain, dans les logements individuels (la fameuse mention « gaz à tous les étages », encore présente sur les façades de nos immeubles, nous rappelle toujours ce grand progrès technique).

Trouver une nouvelle solution

En somme, sur ce sujet apparemment bien modeste, celui de l'éclairage domestique, mais dont l'intérêt pratique était évident, on était loin d'avoir mis à la disposition du plus grand nombre un dispositif simple et pratique. Comme, de son côté, la chandelle était aussi considérée comme dispendieuse, la recherche d'un nouveau mode d'éclairage s'imposait. Il lui fallait allier à la fois la simplicité et la facilité d'emploi de la bougie de cire, avec la modestie du coût pour le consommateur, tout en obtenant des performances supérieures à celles de la chandelle de suif sans en avoir les inconvénients.



Cuves pour la saponification du suif par la chaux. Extrait des Merveilles de la science de L. Figuier, vol. 4, Furne et Jouvet édit., Paris, 1867-1869.



était intéressé par l'industrie. Sa participation aux activités de la Compagnie de Saint-Gobain en 1830, comme conseiller scientifique, puis comme président du conseil d'administration en 1843, en est la preuve. Son association avec Chevreul, qui était depuis 1822 examinateur de chimie à l'École polytechnique, souligne la volonté des élites scientifiques de mettre en application leurs connaissances au service du pays, dans la plus pure tradition des institutions issues de la Révolution française qui les avaient formés ¹².

Un choix raisonné pour une invention

Au lieu de fonder l'éclairage sur les graisses, Chevreul et Gay-Lussac voulaient utiliser les acides gras. Chevreul en avait isolé plusieurs, dont le point de fusion était suffisamment élevé pour qu'ils puissent être employés, en particulier l'acide stéarique, au point de fusion de 70°C, et l'acide « margarique » dont le point de fusion variait entre 51 et 60°C, suivant la nature des graisses, pour reprendre les données de Chevreul ¹³. De son côté, l'acide oléique est liquide à la température ambiante.

Il fallait donc, à partir des graisses et après transformation, isoler les acides gras recherchés, en se débarrassant de l'acide oléique.

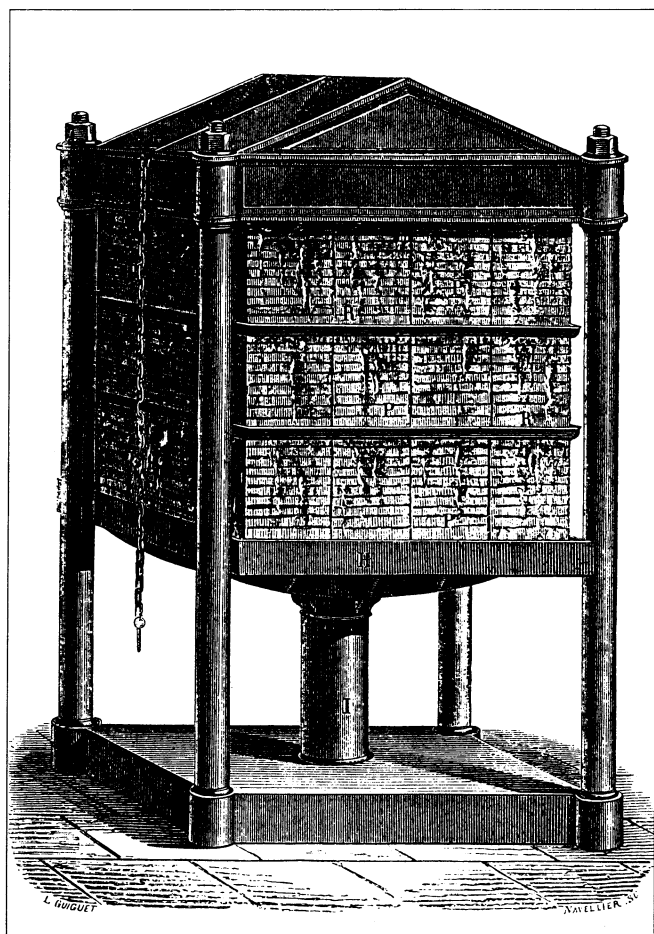
Les deux inventeurs ont proposé des méthodes qui ont été, les unes après les autres, explorées par leurs successeurs. « *Nous saponifions le corps gras que nous destinons à l'éclairage, ou que nous voulons laisser à l'état de savon, soit à la température ordinaire de l'ébullition,*

avec la pression seule de l'atmosphère, soit à une température peu élevée, avec la pression de plusieurs atmosphères », précisent-ils dans le brevet. Ils poursuivent : « *La saponification étant opérée, avec la plus petite quantité possible d'alcali, nous séparons les acides stéarique et margarique de l'acide oléique...* » Les méthodes proposées étaient, respectivement, soit la séparation de l'oléate par de l'eau puis décomposition des savons restants par l'acide chlorhydrique, soit la décomposition de tous les savons formés par le même acide, puis séparation par pression, à froid ou à chaud, de l'acide oléique, soit encore l'extraction de cet acide par l'alcool éthylique.

Faisant la preuve d'une bonne stratégie en matière de brevet, Chevreul et Gay-Lussac ont prévu de protéger toutes les méthodes qu'ils connaissaient aussi bien pour ce qu'ils appellent « saponification » que pour l'isolation des acides gras. Ils précisent en effet : « *Nous nous réservons le droit exclusif de préparer pour l'éclairage les acides gras solides et liquides, que l'on obtient en saponifiant par la potasse, la soude, et les autres bases, par les acides et par tout autre moyen, les graisses, les suifs, les beurres et les huiles.* ¹⁴ »

L'autre aspect de leur stratégie a été de déposer quelques mois plus tard en Angleterre, sur le même sujet, une patente prise le 9 juin 1825 au nom de Mosès-Poole. L'analyse ultérieure du document a permis d'attribuer ce brevet aux deux inventeurs français ¹⁵.

Vue intérieure de la première cour de l'usine des bougies de Clichy. Extrait des Grandes Usines de France de J. Turgan, tome 1, éd. A. Bourdilliat, Paris, 1860.



UNE INVENTION BIEN PRÉPARÉE MAIS ARRIVÉE TROP TÔT

La distance qui sépare l'invention de l'innovation est souvent longue ¹⁶. Dans le cas de la bougie stéarique, il a fallu compter une dizaine d'années.

Les limites de l'invention

Les procédés d'obtention des acides gras à l'échelle industrielle étaient loin d'être résolus. Réalisables au laboratoire, ils n'étaient guère praticables, aussi bien pour des raisons techniques qu'économiques, alors qu'il fallait accéder à un produit concurrentiel, donc moins onéreux que les chandelles ou que d'autres modes d'éclairage.

Par exemple, la potasse ou la soude caustique étaient encore des produits chimiques coûteux. De même, faire des extractions à l'alcool était prohibitif. Enfin, saponifier sous pression en vase clos, ou bien séparer par pressage les acides gras, représentait la mise en œuvre de techniques encore délicates ou de matériels pas encore disponibles sur le marché.

Comme l'a remarqué le chimiste belge J.-S. Stas (1813-1891), dans son rapport sur les bougies stéariques pour l'Exposition universelle de Paris en 1855, « la question de la création de l'industrie stéarique est diversement appréciée ¹⁷ ». Il ajoute plus loin : « Grand nombre de savants, très-éminents d'ailleurs, et placés dans toutes les

conditions possibles d'impartialité, regardent comme inventeurs ceux qui ont découvert un principe, un fait, soit qu'ils aient entrevu l'application, ou qu'ils en aient formulé les bases ; d'autres, au contraire, ne regardent comme inventeurs ceux qui ont réalisé matériellement cette application. » Chevreul et Gay-Lussac avaient cependant déployé bien des efforts, mais ils n'ont pas donné suite à leurs travaux ni exploité leur brevet.

Les tentatives intermédiaires d'un ingénieur

Au moment même de leur prise de brevets, un ingénieur des Ponts et Chaussées, Jules Cambacérès (1798-1853), déposait le sien pour l'« *Emploi des acides stéarique, margarique et oléique à la fabrication de bougies, appelées bougies oxigénées* ¹⁸ ». Ancien élève (entré en 1817) de l'École polytechnique, Cambacérès connaissait certainement bien Gay-Lussac et sans doute aussi Chevreul.

Sans entrer dans les détails, on indiquera seulement que Cambacérès préconisait une mèche creuse. Puis il a fait breveter d'autres modèles de mèches, et finalement a proposé la tresse, ou natte, de fils de coton, qui peut se recourber en brûlant ¹⁹. Sur cette voie qui semblait prometteuse, un frère de Cambacérès a même ouvert une entreprise à Paris, mais, faute de succès, il a dû abandonner.

L' INNOVATION : LE LANCEMENT DE LA BOUGIE STÉARIQUE PAR DE MILLY ET MOTARD

Le succès a été finalement obtenu par deux docteurs en médecine qui se sont lancés dans la chimie des corps gras à la fin des années 1820. Ils réussirent en 1831 la saponification du suif, en utilisant de la chaux en remplacement de la soude ou de la potasse. Cette date devait marquer la « véritable création de l'industrie stéarique ²⁰ ». Pour être plus exact en ce qui concerne la mise au point définitive de la bougie stéarique, c'est en 1836 que celle-ci a reçu le perfectionnement définitif qui a mis le produit véritablement au point.

Le premier procédé d'obtention des acides gras

Dans cette première étape de l'industrie des acides gras se met en place une séquence opératoire qui sera conservée durant des décennies pour la saponification basique des graisses. Elle comporte les opérations suivantes :

- *préparation d'un savon calcaire par saponification*
- La matière grasse, en principe du suif de bœuf, est

Pressage à froid des acides gras, au moyen de la presse hydraulique verticale. 1 est la tige du piston de la presse hydraulique, dont le canal et la pompe de compression sont établis dans une pièce séparée ; P,P, sont les sacs de laine contenant les acides gras, qui forment trois étages séparés par des plaques de tôle. H est la table, pourvue d'une rigole, par laquelle l'acide oléique s'écoule à mesure qu'il exsude de la matière comprimée. R,R, sont deux autres rigoles. L'acide oléique se rend, de ces rigoles, dans le bassin qui sert à le recueillir et qui est en contrebas de la pièce. Extrait des Merveilles de la science de L. Figuier, vol.4, 1867-1869.

placée dans un cuve en bois, dans laquelle de la vapeur est introduite. On ajoute 14 % de son poids en chaux grasse, et le mélange est maintenu à 100° pendant huit heures sous agitation permanente. Le savon calcaire est ensuite laissé au repos et, après refroidissement, la solution de glycérine est séparée de la masse dure formée.

- obtention des acides gras par acidification

Après battage de la masse, la poudre grossière obtenue est placée dans une cuve en bois doublée de plomb dans laquelle de la vapeur d'eau circule dans des serpentins en plomb. De l'acide sulfurique à 20° Baumé est introduit progressivement dans la cuve, en excès, pour mettre les acides en liberté. L'opération se poursuit et la masse obtenue devient homogène. Après mise en repos et décantation, les acides gras présents dans la couche supérieure sont recueillis, puis lavés deux fois à l'acide, lavés à l'eau, et mis à refroidir dans des bacs. La matière brute est ainsi moulée en pains.

- séparation des acides gras par pressage mécanique

Placés dans des sacs de laine grossière, les pains sont soumis à une pression lente et graduée au moyen d'une presse hydraulique verticale pendant quatre ou cinq heures. L'acide oléique liquide s'écoule, est recueilli dans des bacs. Refroidi, il libère une certaine quantité d'acides solides. Les acides sont ensuite pressés à chaud dans des sacs de laine recouverts d'une enveloppe de crin et déposés entre des plaques creuses chauffées à la vapeur d'eau. Le pressage est réalisé dans une presse hydraulique horizontale.

- purification des acides gras

A ce niveau des opérations, on a obtenu un mélange des acides gras solides. Leur purification est réalisée par refusion, puis acidification et élimination des parties insolubles par coagulation d'albumine (comme pour le collage d'un vin) en présence d'acide oxalique. Les acides gras étaient alors parfaitement incolores et limpides.

- fabrication des bougies

Pour nos deux industriels, cette étape a présenté des difficultés qui ont été surmontées progressivement : celle de la mèche, comme cela a été signalé plus haut, et aussi celles de la couleur (qui devait être très blanche), du point de fusion (qui devait rester suffisamment élevé), et de la forme de la bougie qui devait être régulière et lisse.

La forme définitive était donnée par moulage. Pour empêcher la cristallisation des bougies durant cette opération, les inventeurs mirent au début des traces d'acide arsénieux, ce qui leur fut promptement interdit. Ils ajoutèrent ensuite de la cire blanche en quantité variable. Cela augmentait le prix de la bougie qui, par ailleurs, jaunissait très vite. En 1834, ils trouvèrent le moyen de verser les acides gras dans des moules préalablement chauffés à la même température. Pour blanchir les bougies, on les exposait à la lumière solaire. Enfin il fallait les polir.

Restait, vers 1835, le problème de la mèche de cette bougie, qui avait la fâcheuse tendance de la faire couler durant la combustion. Après de multiples essais, de Milly trouve en 1836 l'imprégnation de la mèche par de l'acide borique en solution avec un millième de son poids d'acide sulfurique. La flamme de la bougie, siège de la combustion, produit avec les différents produits chimiques présents

un borosilicate fusible qui monte dans la mèche. Cette invention décisive a été protégée par un brevet déposé par A. de Milly. Or celui-ci était déjà concessionnaire du brevet de Cambacérès. Ce fait suggère la nature des relations qui avaient pu être établies entre les différents intervenants dans cette étape décisive.

Les premiers pas d'une nouvelle industrie

En 1834, de Milly et Motard, seuls fabricants en France de la bougie stéarique, reçoivent une médaille d'argent à l'Exposition de Paris. La Société d'encouragement leur en attribue une autre. Ils produisent déjà 16 tonnes par an de bougies à 4,50 F le kg. A l'Exposition de 1839, la concurrence se manifeste : neuf fabricants présentaient leurs fabrications. La production annuelle était de près de 1 000 tonnes, et le prix était tombé à 2,50 F le kg. La nouvelle industrie stéarique ne cessera de se développer.

Déjà le rapporteur du jury pour l'Exposition de 1839 signalait les premiers développements de cette nouvelle activité industrielle : « *En résumé, M. de Milly se trouve encore à la tête de l'établissement le plus considérable de ce genre, il en a construit un semblable à Marseille, afin d'ouvrir sur les deux points principaux de fabrication et de vente des savons, un double débouché aux acides gras fluides, sorte de résidu de la fabrication des acides gras solides ; de ses ateliers sont sortis les fondateurs d'usines semblables qui se sont multipliées non seulement en France mais encore à l'étranger. Pour cette application toute française d'une découverte dont le monde reconnaît parmi nous l'auteur, M. Chevreul, le jury décerne à M. de Milly une Médaille d'or.* »²¹ Par la suite, d'autres distinctions ont été décernées à A. de Milly lors des expositions.

Premières retombées de la fabrication des acides gras

Comme cela avait été découvert par Chevreul, le traitement chimique du suif ou d'autres graisses animales utilisées pour l'obtention des acides gras donne deux sous-produits : des acides gras à bas point de fusion, dont l'acide oléique est le représentant principal, et de la glycérine.

On vient de noter les premières retombées de la fabrication des bougies stéariques lors de l'Exposition de 1839. La transformation des acides gras liquides en savons par saponification rendait alors commercialisable un important sous-produit, l'acide oléique. Il suffit de savoir que, dans le suif de bœuf, l'acide oléique représente en valeur moyenne 35 à 36 % de la masse totale, et que les acides gras insaturés supérieurs en C18 font en moyenne 40 % de la masse²². Le saindoux comporte en moyenne 42 à 43 % d'acide oléique, et près de 48 % avec le C18 supérieur. Le premier débouché a été la fabrication de savon « mou », ou savon noir, obtenu à partir de l'acide oléique après une saponification.

Un autre débouché pour l'acide oléique a été l'ensimage des laines, opération de graissage des fibres pour faciliter le tissage. Cette technique a été mise au point

par le chimiste Eugène Péligot (1811-1890), professeur à l'École centrale, et par Michel Alcan (1811-1877), ancien élève de la même école, professeur de filature et de tissage au Conservatoire des arts et métiers²³.

La glycérine, de son côté, ne présentait encore qu'un intérêt extrêmement limité : l'application en médecine. On s'en débarrassait donc pour le moment. C'est en 1847 que le chimiste italien Sobrero a découvert, sous la direction de Jules Pelouze (1807-1867), la trinitroglycérine. Produit très instable, son emploi est resté très dangereux avant qu'Alfred Nobel (1833-1896) ne lui ait trouvé, en 1866, un usage industriel. Cette invention devait, comme on sait, faire sa fortune : la fabrication de la dynamite²⁴.

DIVERSIFICATION DES MÉTHODES D'ACCÈS AUX ACIDES GRAS

En 1855, Stas soulignait que l'industrie stéarique a donné naissance « à des recherches nouvelles pour la fabrication en grand des acides gras par d'autres moyens que la saponification calcaire et à l'aide d'autres substances grasses que le suif²⁵ ».

L'industrie stéarique a en effet suscité toute une série de recherches dans plusieurs directions qui peuvent être résumées en ces termes : économie de matières premières, élargissement des sources d'approvisionnement, rentabilité accrue.

Dans cette perspective, les chimistes ont étudié de nouvelles méthodes d'obtention des acides stéarique et palmitique²⁶ à partir du suif ou du saindoux qui en contiennent une très grande proportion. Ce sera surtout la « voie française », même si d'autres possibilités ont été activement étudiées.

L'autre voie tendait à obtenir des acides gras susceptibles d'avoir des propriétés physiques tout autant intéressantes pour la fabrication de bougies. Elle est fondée sur l'utilisation de matières grasses telles que des huiles non comestibles, des graisses de mauvaise qualité ou de récupération. Ces tentatives ont vu leurs débuts d'abord en Grande-Bretagne, pour s'étendre ensuite à d'autres pays, et elles donnèrent lieu à l'installation de très nombreuses entreprises au milieu du siècle dernier.

Les principales méthodes d'obtention des acides gras entre 1840 et 1870

On retracera, dans leurs grandes lignes, les différentes méthodes suivies. Elles ne doivent pas être dissociées de ceux qui les ont mises au point. Aux côtés des industriels figurent de nombreux scientifiques, en particulier dans le cas français. Ceci souligne l'existence d'interactions fortes entre la science et l'industrie, et l'intérêt suscité pour cette nouvelle branche de la chimie industrielle.

En reprenant la présentation adoptée dans des ouvrages de chimie industrielle de cette époque, comme celui du chimiste Anselme Payen (1795-1871), professeur au Conservatoire des arts et métiers et à l'École centrale, les différentes méthodes pouvaient être regroupées sous la

même technique appelée la « distillation »²⁷. En réalité, si ce terme utilisé par les chimistes du siècle dernier permettait de rendre compte de l'évolution technique qui s'est manifestée dans la stéarinerie, pour notre époque la réaction chimique qui est réellement en jeu consiste en une hydrolyse en milieu acide, et elle en constitue le véritable fil conducteur. Une distillation servait à séparer les produits formés.

L'emploi de l'acide sulfurique

L'acide sulfurique était connu comme étant susceptible de dédoubler les matières grasses en acides gras et en glycérine. Mentionné par Chevreul, ce résultat est repris en 1836 par le chimiste Edmond Frémy (1814-1894), un élève de Gay-Lussac qui deviendra professeur au Conservatoire en 1838²⁸.

Frémy a montré que les composés formés, qu'il nommait des « acides sulfo-gras », sont décomposables facilement en acides gras par action de l'eau chaude. La méthode reste momentanément inutilisée par l'industrie. Ce n'est qu'en 1855 que ce chimiste a déposé un brevet d'invention sur la « saponification » sulfurique des graisses.

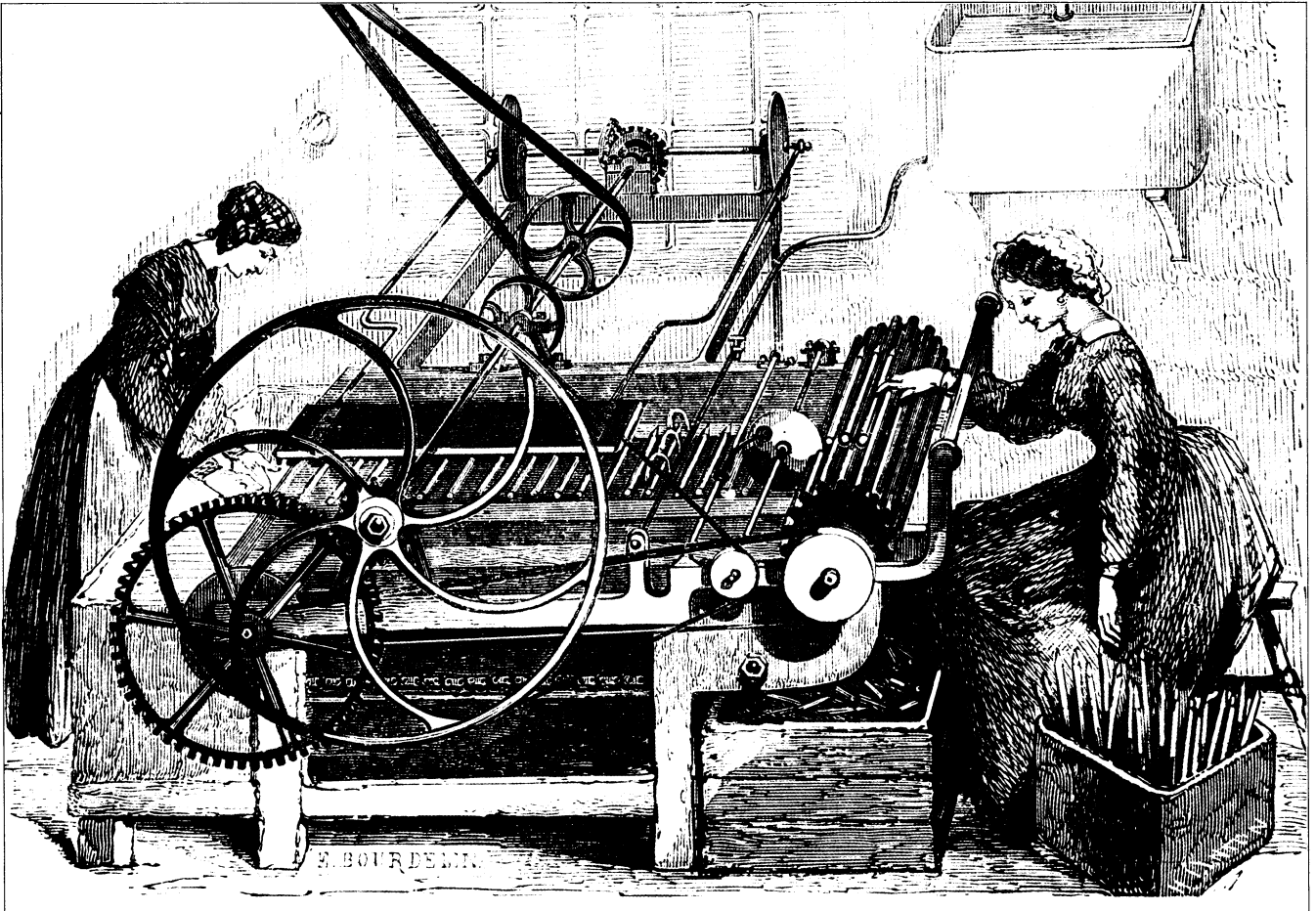
La « distillation » des acides gras

Plusieurs chimistes, tels Bussy et Le Canu, professeurs à l'École de pharmacie de Paris, ont étudié en 1840 les produits obtenus par traitement thermique de graisses²⁹. L'année suivante, un industriel, A.-P. Dubrunfaut, déposait un brevet sur la « distillation » des corps gras à 200-300° C par de la vapeur d'eau surchauffée, qui consistait en une hydrolyse acide des triglycérides. Cette méthode permettait d'obtenir des acides gras sans décomposition, et de les recueillir par entraînement à la vapeur d'eau³⁰. L'idée est très intéressante pour les industriels. Dubrunfaut, spécialiste de la chimie sucrière et de la distillation des alcools, a appliqué ici ses connaissances techniques dans le domaine de la stéarinerie. Son procédé pour traiter l'huile de palme a été mis en œuvre en France avec un succès limité dans les années 1840. Après les tentatives en 1848 des industriels Masse et Tribouillet à Neuilly, sous licence Dubrunfaut, la méthode n'a été véritablement reprise qu'après l'échéance de ce brevet en 1857.

La « distillation sulfurique »³¹

La voie qui a connu un très grand développement à l'étranger à partir des années 1840 est celle qui faisait appel à l'hydrolyse en milieu sulfurique combinée à la distillation à la vapeur. C'est en Grande-Bretagne, où une série de brevets d'invention, dus notamment à George Wilson, W. Coley, Jones et G. Gwinne, a été déposée sur cette question à partir de 1842³², que l'industrie stéarique a été fondée. Sur cette voie vont naître des entreprises concurrentes de la voie française. Par la suite, des méthodes similaires se propageront en Hollande, en Belgique, en Allemagne et dans d'autres pays.

Sur la filière technique qui vient d'être signalée, la



firme Price's Patent Candle Company a été fondée en 1843 à Londres. Elle a été la première entreprise importante de fabrication d'acides gras sur une voie différente de la saponification calcaire.

Dans de grandes cuves en bois, doublées de plomb, on introduit la matière grasse et on ajoute de 6 à 15 % d'acide sulfurique concentré suivant les cas ; pour de l'huile de palme, il en faut 10 %. Au moyen de la vapeur circulant dans un serpentín, un chauffage à 90-95° C est maintenu pendant 18 à 20 heures. La glycérine et une partie des acides gras liquides sont décomposés et entraînés sous forme de vapeurs. Les acides gras, fortement colorés, sont recueillis, lavés à l'eau chaude jusqu'à neutralité. Ils sont soumis ensuite à la distillation par de la vapeur d'eau. Les opérations ont été combinées en une seule par la suite.

Des filières techniques liées à diverses contraintes

Selon un spécialiste comme L. Droux, ingénieur civil, inventeur et directeur de l'usine de bougies de Clichy³³, l'industrie stéarique devait tenir compte des différents marchés : le succès de la distillation des graisses tenait en partie à la consommation des savons. Les Français consommaient surtout des savons durs à base de soude. L'acide oléique distillé donne de mauvais savons durs. La saponification utilise, de plus, des suifs de bonne qualité, alors que la distillation utilise surtout des suifs d'os, des graisses de qualité inférieure ou de récupération, ou encore des huiles de palme des colonies, tous produits de moindre valeur. D'un autre côté, un spécialiste comme A. Payen soulignait le poids des taxes à l'importation qui, avec d'autres facteurs, alourdissait le prix des matières premières, en particulier de l'huile de palme³⁴.

L'APPORT DES SCIENTIFIQUES ET LES PROGRÈS DE LA CHIMIE AU MILIEU DU XIX^e SIÈCLE

Sur le plan des connaissances théoriques, l'une des principales contributions a été celle du grand chimiste Marcelin Berthelot (1827-1907). Donnant une suite remarquable aux recherches analytiques de Chevreul, il a réalisé pour la première fois la synthèse de corps gras à partir d'acides gras et de glycérine pour sa thèse de doctorat, soutenue en 1854³⁵. L'apport de Berthelot est ici décisif car il rendait plus compréhensibles, et alors plus maîtrisables, les connaissances sur les corps gras et les réactions qui les caractérisent. Avec les acides, la glycérine pouvait donner trois combinaisons différentes. Ce qui est traduit de nos jours par l'équation chimique représentée sous forme de l'équilibre (en présence d'un acide minéral) :

$$\text{alcool} + \text{acide} \rightleftharpoons \text{ester} + \text{eau},$$
résulte des travaux de Berthelot. Appliquée aux graisses, esters de la glycérine, ou triglycérides, la réaction faisant seulement intervenir de l'eau permettait d'accéder aux acides gras constitutifs.

D'autres chimistes ont aussi étudié des sujets d'intérêt

industriel pour la stéarinerie. Ainsi Frémy, cité plus haut, proposait en 1855 un traitement sulfurique des graisses à basse température pour éviter des colorations. De son côté, J. Pelouze, cité plus haut, élève de Gay-Lussac, professeur à l'École polytechnique et spécialiste de l'étude de la glycérine, a publié en 1855 un étude sur la saponification des huiles³⁶. D'autres scientifiques, comme Louis Melsens (1814-1886), professeur de chimie et de physique à l'École vétérinaire de Bruxelles, ou l'Américain Tilghman, proposaient des méthodes d'hydrolyse des graisses sous pression de plusieurs atmosphères pour obtenir les acides gras³⁷.

Par ailleurs, durant cette période, la chimie industrielle s'est organisée progressivement avec la mise en œuvre de matériaux spécifiques, la maîtrise des conditions opératoires (température, pression, etc.) et la réalisation progressive de processus opératoires en continu. De telles évolutions sont par exemple observées dans l'industrie sucrière³⁸. La stéarinerie a naturellement bénéficié de ces progrès qui permettaient de réaliser des opérations de plus en plus complexes.

La floraison inventive des années 1850-1860

Toutes ces avancées scientifiques et techniques sont prises en compte, et l'industrie stéarique en France utilise au milieu des années 1860 une variété de méthodes. La saponification calcaire a été perfectionnée afin d'économiser les matières premières, en particulier avec l'utilisation d'autoclaves pour travailler sous pression. L'hydrolyse est pratiquée aussi bien en présence d'acide sulfurique concentré qu'avec seulement des traces de cet acide. La distillation se fait par entraînement à la vapeur ou encore sous pression réduite. Ces variantes illustrent la grande mobilisation des industriels et la multitude des voies explorées. Il n'en reste pas moins que c'était la saponification calcaire, de plus en plus perfectionnée par les industriels dont de Milly faisait partie, qui représentait la principale méthode utilisée en France³⁹.

APERÇU DU DÉVELOPPEMENT DE L'INDUSTRIE STÉARIQUE

Plusieurs caractéristiques semblent pouvoir être retenues : la stéarinerie française a connu un essor rapide, qui s'est matérialisé par une diversité d'entreprises et de méthodes suivies. Quelques repères permettent de le percevoir.

Un essor rapide

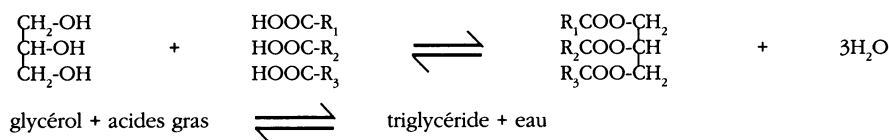
Globalement, entre la période de démarrage (1835-1844) et la fin de la période abordée ici (1865-1874), la production moyenne annuelle a été multipliée par un

La machine à scier et laver les bougies à l'usine des bougies de Clichy. Les presses de l'usine des bougies de Clichy.

Extraits des Grandes Usines de France de J. Turgan, tome 1, éd. Bourdilliat, 1860.

Corps gras : quelques repères

Tout corps gras (huile, beurre, graisse), d'origine animale ou végétale, est essentiellement composé de triglycérides (pour 95 à 98%), qui sont des esters résultant formellement de la réaction de différents acides gras avec le glycérol, ou glycérine, suivant le schéma suivant :



La composition moyenne pondérale en acides gras est caractéristique pour chaque corps gras naturel (voir tableau). Elle varie notamment en fonction de son origine géographique et des traitements qu'elle a pu subir.

Les acides gras, au nombre d'une vingtaine dans la nature, comportent des atomes de carbone, d'hydrogène et d'oxygène.

Trois paramètres les différencient :

- la longueur de la chaîne d'atomes de carbone : entre 4 et 24 carbones, quasiment toujours en nombre pair ; les plus courants ont 16 ou 18 carbones.
- l'insaturation : des doubles liaisons éthyléniques peuvent se trouver à des emplacements précis de la chaîne hydrocarbonée, ce qui confère aux acides gras insaturés des propriétés particulières.
- l'isomérisation, ou position des chaînes hydrocarbonées par rapport aux doubles liaisons.

Exemples :

- acide gras saturé : acide stéarique (C18, dans le tableau) :
 $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$
- acide gras insaturé : acide oléique (C18:1, dans le tableau) :
 $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH=CH-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$

Le point de fusion dépend de la longueur de la chaîne, du degré d'insaturation et de l'isomérisation.

Les corps gras ont un grand nombre d'usages, soit directement après purification, soit après transformation en d'autres composés chimiques. La lipochimie tient une place importante dans les industries chimiques.

facteur d'environ 3,5. La croissance s'est poursuivie jusqu'à la période 1885-1894 où elle a atteint 7,8 fois la production de la période initiale, avec 22 200 tonnes par an en moyenne, comparées aux 2 850 tonnes des débuts⁴⁰. Par la suite, la concurrence de l'éclairage au gaz dans les grandes villes, puis de l'éclairage au pétrole et enfin de l'électricité, allait modifier complètement les données du secteur.

Cette industrie est installée près des lieux d'approvisionnement : aux portes des grandes villes (Paris, Lyon, notamment), à proximité des abattoirs pour les suifs, ou dans de grands ports (Marseille, Nantes, etc.), où les corps gras étrangers sont livrés⁴¹. En aval de cette industrie, d'autres activités viennent se brancher, comme des savonneries.

A titre d'exemple, il existait en France 55 stéarinerie en 1867. Elles traitaient ensemble 150 tonnes de matière grasses par jour, dont la répartition était la suivante : suifs (134 tonnes), huiles de palme (8 tonnes), graisses diverses (8 tonnes). En 1885, on recensait 166 usines⁴².

Une industrie « hétérogène »⁴⁰

Sur les 55 usines recensées en 1867, 32 (soit 58 %) utilisaient la saponification calcaire à pression ordinaire et traitaient 65 tonnes de matières grasses ; 11 (soit 20 %) la pratiquaient sous pression réduite avec des quantités calculées pour former un savon neutre (45 tonnes de corps gras traités) ; 3 seulement pratiquaient exclusivement la

« distillation » (10 tonnes traitées) ; les autres utilisaient la saponification sous pression (procédé perfectionné par A. de Milly), ou encore la « distillation » combinée à la saponification.

Selon le mode de fabrication, les produits n'ont pas la même qualité. Ainsi, depuis 1855, de Milly commercialisait deux types de bougies. Les bougies stéariques obtenue par saponification calcaire à base de suif étaient vendues sous la marque « Bougie de l'Étoile ». D'une blancheur extrême, très dures, sèches au toucher, elles donnent une flamme très brillante. Elles sont fabriquées à partir d'un mélange d'acide stéarique et palmitique ; leur point de fusion est de 54,5 à 55° C. Sous la marque « Bougie de la Chapelle », cet industriel commercialisait des bougies faites avec des acides gras obtenus par hydrolyse sulfurique et distillation selon le procédé de Frémy. Elles étaient moins dures, plus cassantes et coulaient plus facilement. Leur point de fusion était inférieur d'environ 3° C à celui des bougies stéariques. D'autres fabricants donnaient un enrobage stéarique à des bougies faites à partir d'acides gras issus d'huile de palme. Pour sa part, le premier industriel français de la stéarinerie fabriquait par an 2,5 millions de paquets de bougie et 1,5 million de kilogrammes de savons de soude à l'acide oléique⁴³.

(ci-contre) Document Lesieur.

COMPOSITION EN ACIDES GRAS

DES HUILES ET GRAISSES ALIMENTAIRES

(Valeurs exprimées pour 100 g de lipides)

(valeurs 1988 - moyenne)

Corps gras ↓	Acides gras →																	
	BUTYRIQUE C4:0	CAPROÏQUE C6:0	CAPRYLIQUE C8:0	CAPRIQUE C10:0	LAURIQUE C12:0	MYRISTIQUE C14:0	MYRISTOLEIQUE C14:1	PALMITIQUE C16:0	PALMITOLEIQUE C16:1	STÉARIQUE C18:0	OLÉIQUE C18:1	LINOLEIQUE C18:2	LINOLÉNIQUE C18:3	ARACHIDIQUE C20:0	GADOLEIQUE C20:1	BÉHÉNIQUE C22:0	ÉRUCIQUE C22:1	LIGNOCÉRIQUE C24:0
BEURRE DE CACAO								26		34	35	3	<1	1				
SAINDOUX						2		25	3	18	44	7	<1	<1	<1			
SUIF						3	1	26	3	23	39	4	<1	<1				
BEURRE	3	1	1	3	4	12	2	29	4	11	25	2	1	2				
PALME						1		44		6	38	10	<0,5	<0,5				
PALMISTE		<1	4	3	47	16		6		3	16	3						
COPRAH		1	7	6	46	18		9		3	8	2						
OLIVE								11	1	3	77	7	<1					
ARACHIDE								11		4	48	29	<0,5	2	1	3	<0,1	1
COLZA								5	<0,5	2	59	21	9	<0,5	1	<0,5	<1	
SOJA								10		4	23	53	8	<0,5	<0,5	<0,5		
MAIS								11		2	28	56	1	<0,5	<0,5	<0,5		
TOURNESOL								6		5	18	69	<0,5	<0,5	<0,5	<1		
PÉPINS DE RAISINS								7		5	17	70	<0,5	<0,5	<0,5			
NOIX								8		2	18	58	14	<0,5				

Pays où l'invention est apparue et où l'innovation s'est réalisée, la France était en 1867 le premier producteur mondial, avec 45 000 tonnes/an de matières grasses traitées. Suivie de près par la Grande-Bretagne (40 000 t) avec 30 stéarinerie par distillation, et par l'Allemagne (35 000 t) avec 50 usines distillant et saponifiant. La Belgique et la Hollande, avec 10 000 t/an chacune, se situaient immédiatement après ce groupe des principaux producteurs.

Ce tracé des grandes lignes d'un secteur industriel, qui peut sembler relativement modeste quand on le compare, à la même période, avec celui de la savonnerie avec lequel il est très lié, n'a pour seul but que de renouer avec les racines de la lipochimie contemporaine. Fondée sur des recherches scientifiques, appliquée avec succès par des industriels innovateurs, l'industrie qui a produit des acides gras et de la glycérine n'a pas joué un rôle secondaire au cours du siècle dernier ; au contraire, elle a participé à la mise en place d'un ensemble industriel nouveau relevant de la chimie organique.

Enfin, cette remarque de Turgan : « *Tout est français dans la stéarinerie*⁴⁴ », nous laisse mesurer l'importance que cette industrie avait aux yeux des contemporains. Aujourd'hui produit d'intérêt marginal, constituée de paraffine issue de la pétrochimie, la bougie ne contient plus qu'un faible pourcentage d'acide stéarique. Néanmoins, la production annuelle d'acide stéarique dans le monde reste voisine de 1 500 000 tonnes⁴⁵.

Notes

1. Des éléments d'information sur les corps gras sont donnés par ailleurs dans cet article (voir encadré).
2. L'acide stéarique est un acide gras saturé comportant 18 atomes de carbone, 36 atomes d'hydrogène et 2 atomes d'oxygène. Il est présent en quantités très variables dans tous les corps gras naturels.
3. L'Association française pour l'étude des corps gras a organisé, du 6 au 9 juin 1989, à Angers, le Congrès international Chevreur pour l'étude des corps gras « Eurolipids », à l'occasion du centenaire de la mort du chimiste Chevreur.
4. Certaines dénominations données à l'origine par Chevreur ont été modifiées par la suite. Si l'acide oléique a conservé sa dénomination, le nom d'acide « margarique » serait incorrect de nos jours pour le composé isolé par Chevreur à partir du saindoux. Il s'agissait en fait d'un mélange d'acide stéarique et d'acide palmitique (ref.: C. Paquet et J.-P. Wolff, *Michel-Eugène Chevreur fondateur de la chimie des corps gras*, publication spéciale Congrès Eurolipids, Association française pour l'étude des corps gras, 1989).
5. Chevreur lui-même a contribué au perfectionnement des méthodes d'analyse des composés organiques. Voir notamment A.B. Costa, *Michel-Eugène Chevreur, Pioneer of Organic Chemistry*, Madison, 1862.
6. Chevreur a été nommé en 1830 professeur de chimie au Muséum, à la chaire de Vauquelin. Sur cette question, voir Ch. Mentzer, « L'enseignement de Chevreur au Muséum », in *Recueil des conférences prononcées aux Journées Chevreur, Angers 22-24 mai 1964*, Société chimique de France, Bull. Soc. chim., 1964.
7. Charles-Guillaume Scheele (1742-1786), chimiste suédois.
8. L'acide margarique est de nos jours l'acide gras saturé à 17 carbones.
9. Les travaux scientifiques de Chevreur ont fait l'objet de nombreuses études, tant de la part de la communauté scientifique que des historiens. Voir C. Gillispie, *Dictionary of Scientific biographies*, Notice biographique de Chevreur, par A.B. Costa, pp.240-244. Pour une revue récente de travaux sur Chevreur, voir G. Emptoz, « Un savant dans son siècle », *Revue française des corps gras*, n°9/10, 1989, pp. 367-373.
10. Gay-Lussac et Chevreur, Brevet d'invention de 15 ans, fonds INPI, Paris.
11. Simonnin et Braconnot, Brevet d'invention de 5 ans, fonds INPI, Paris.
12. N. Dhombres, J. Dhombres, *Naissance d'un nouveau pouvoir : sciences et savants en France, 1793-1824*, Payot, Paris, 1989.
13. M.-E. Chevreur, *Recherches chimiques sur les corps gras d'origine animale*, réédition, Imprimerie nationale, Paris, 1889 (édition originale parue en 1823).
14. M.-E. Chevreur et J.-L. Gay-Lussac, Brevet d'invention (Ref.10).
15. M. Crosland, *Gay-Lussac, Scientist and Bourgeois*, Cambridge University Press, Cambridge, 1978, p. 194. Le brevet au nom de Mosès-Poole est cité dans des publications du siècle dernier, du vivant de Chevreur.
16. G. Mensch, « la Technique en crise », *Culture technique*, n° 18, mars 1988, pp. 55-78.
17. J. Stas, *Rapport du Jury mixte international*, Exposition universelle de Paris en 1855, Imprimerie impériale, Paris 1856, Dixième Classe, Bougies stéariques.
18. J.-L. Cambacères, Brevet d'invention de 15 ans (délivré le 10 février 1825) suivi de quatre certificats de perfectionnement et d'addition, des 2 mars, 25 mai et 17 novembre 1825, et du 10 octobre 1826, fonds INPI, Paris.
19. Voir J. Stas, *Rapport du Jury mixte international (op.cit.)*.
20. J. Stas, *ibid.*
21. *Rapport du Jury central*, Exposition des produits de l'industrie

française en 1839, Bouchard-Huzard, Paris, 1839, 5^e classe Chimie.

22. Voir le tableau de la composition des corps gras.

23. *Cent Cinquante Ans de haut enseignement technique au Conservatoire national des arts et métiers*, CNAM, Paris, 1970, pp. 111-112.

24. M. Dumas, *Histoire générale des techniques*, vol. IV, PUF., Paris 1978, pp. 574-575 ; J. Wojkowiack, *Histoire de la chimie*, Tec & Doc, Paris, 1984, p. 128 ; F. Aftalion, *Histoire de la chimie*, Masson, Paris, 1988, p. 59.

25. J. Stas, *op.cit.*(ref.17).

26. L. Droux, « Acides gras, bougies stéariques », *in études sur l'Exposition universelle de Paris en 1867*, Lacroix, Paris, 1867, pp. 212-255.

27. A. Payen, *Précis de chimie industrielle*, tome 2, 5^e éd., Hachette, Paris, 1867, pp. 797-807.

28. *Cent Ans de haut enseignement technique au Conservatoire national des arts et métiers*, (*op.cit.*, p.15).

29. Travaux cités par A. Payen, *in Précis de chimie industrielle*, (*op.cit.*, p. 797).

30. Dubrunfaut, Brevet d'invention de 15 ans, délivré le 28 août 1841, et certificat d'addition du 4 mars 1842, fonds INPI, Paris.

31. La terminologie utilisée par les chimistes du XIX^e siècle, qui ignoraient les détails des réactions mises en jeu ici, doit être corrigée. Il s'agit d'une hydrolyse acide des triglycérides. L'acide sulfurique concentré réagit sur les acides gras insaturés pour donner des sulfonates et des sulfates organiques sous forme acide. En présence d'eau, les sulfates organiques s'hydrolysent, mais les sulfonates sont des catalyseurs actifs d'hydrolyse des triglycérides (information aimablement communiquée par J.-P. Wolff).

32. J. Stas, *op.cit.*

33. Turgan, *les Grandes Usines de France*, t. I, Librairie nouvelle, Paris, 1860, pp. 128-144: « Usines de bougies de Clichy ».

34. A. Payen, « Industrie stéarique et paraffine », *Rapports des membres de la section française du Jury international sur l'ensemble de l'Exposition*, sous la direction de M. Chevalier, Exposition universelle de Londres de 1862, Chaix, Paris, 1862, t. II, p. 206.

35. J. Jacques, *Marcelin Berthelot, autopsie d'un mythe*, Belin, Paris, 1987, chap. 12.

36. J. Pelouze, *Bull. Société d'encouragement*, 54, 1855, pp. 298-301 ; 56, 1857, pp. 50-57.

37. Melsens, Brevet d'invention de 15 ans, n° 21749, déposé le 18 décembre 1854 ; certificat d'addition du 29 mai 1855, fonds INPI, Paris.

38. M. Dumas, *Histoire générale des techniques*, t. III, PUF, Paris, 1968, pp. 641-643.

39. Une variété de perfectionnements a été apportée aux différentes étapes de l'obtention des acides gras, et de leur transformation en bougies. La saponification a cédé la place à l'hydrolyse des suifs sous pression en présence d'oxydes de calcium ou de zinc comme catalyseurs (J.-P. Wolff, communication personnelle).

40. T.J. Markovitch, « L'industrie française de 1789 à 1964, Chimie », *Cahiers de l'ISEA*, juin 1966, pp. 21-22, et tableaux annexés. Les chiffres que cet auteur a publiés pour les productions de la stéarinerie durant les années 1865-1874 ne peuvent être directement comparés à ceux donnés par L. Droux sur les consommations de matières grasses au milieu des années 1860. Il convient de se reporter aux statistiques industrielles nationales de cette époque pour une image plus précise.

41. P. Baud, *l'Industrie chimique en France*, Masson, Paris, 1932, p.150.

42. P. Baud, *ibid.*

43. J. Stas, *op.cit.*(ref. 17).

44. Turgan, *les Grandes Usines en France*, (*op.cit.*, p. 128) ; citation reprise par L. Droux, *op.cit.*(ref. 26), p. 212.

45. Information aimablement communiquée par J.-P. Wolff, directeur général honoraire de l'Institut des corps gras, à qui l'auteur adresse ses remerciements pour la revue de cet article.

Nota : Voir aussi sur l'éclairage par les corps gras solides, l'ouvrage de vulgarisation de L. Figuiet, *les Merveilles de la science*, vol. 4, Paris, 1869-1878, pp. 58-91.