

Glycérol et dérivés : des molécules d'actualité

Résumé Le glycérol, molécule présente dans le règne animal et végétal, est une molécule de base du squelette de nombreuses molécules naturelles. C'est aussi une molécule clé pour la synthèse de nombreux composés qui sont capables de s'auto-assembler et possèdent des propriétés physico-chimiques originales. Le glycérol et ses dérivés ont des applications dans des domaines très divers, dont l'agroalimentaire, la cosmétique et la pharmacie. Il est en particulier très utilisé dans la formulation des gels virucides contre la propagation de la COVID-19.

Mots-clés Glycérol, glycérides, tensioactif, cosmétique, pharmacie.

Abstract Glycerol and derivatives: still current molecules

Glycerol, a molecule present in the animal and vegetable kingdoms, is a basic molecule of the skeleton of many natural molecules. It is also a key molecule for the synthesis of many compounds capable of self-assembling and having original physicochemical properties. Glycerol and its derivatives have applications in a wide variety of fields including food, cosmetics and pharmacy. Today, it is a material widely used in the formulation of virucidal gels against the spread of COVID-19.

Keywords Glycerol, glycerides, surfactant, cosmetic, pharmacy.

Aujourd'hui, tout le monde connaît le mot glycérol ou glycéline. Il nous paraît intéressant de faire le point sur cette molécule qui se présente sous la forme d'un liquide incolore, visqueux, à la saveur sucrée, miscible à l'eau et à l'alcool. Cette molécule, assez simple chimiquement, ainsi que quelques dérivés ont de très nombreux usages que l'actualité nous rappelle.

La découverte du glycérol

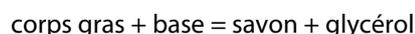
Le glycérol, ou glycéline, est un composé chimique de formule brute $C_3H_8O_3$ (nom IUPAC : propane-1,2,3-triol ou 1,2,3-propanetriol), naturellement présent dans notre organisme et également produit à la surface de notre corps par notre microbiote cutané.

En 1793, le pharmacien et chimiste suédois Carl Wilhelm Scheele (1742-1786) obtient un « principe doux » par la distillation de l'huile d'olive en présence d'oxyde de plomb. Michel Eugène Chevreul (1786-1889) établit que les graisses animales proviennent de la réaction d'un acide gras avec le principe doux de Scheele et donne à ce principe le nom de glycéline, de γλυκεος, qui signifie « doux » en grec, suivi du suffixe -ine attribué à des substances liées à la vie.

Chevreul montre aussi qu'acides ou bases décomposent les triglycérides en acides gras et en glycéline (figure 1). Ces résultats l'amènent à penser que les graisses sont constituées de « principes immédiats », ou substances chimiques simples, à partir desquels il peut les reconstituer. Il en tire une loi générale de constitution des corps gras : « Ce sont des corps ternaires susceptibles, en fixant de l'eau, de se dédoubler en

acides et en glycéline. » Chevreul considère les graisses comme des composés issus de l'action d'un acide gras sur un alcool. Il publie une série d'articles dans les *Annales de chimie* qu'il réunit en 1823 en un volume dans ses *Recherches chimiques sur les corps gras d'origine animale* [1].

En 1855, Marcelin Berthelot (1827-1907) établit que le glycérol est un corps « tribasique » (trialcool) [2] et Louis Pasteur (1822-1895) indique que cette molécule apparaît en petite quantité dans la fermentation du glucose. Il s'agit d'un sous-produit de la saponification des corps gras (animaux ou végétaux) réalisée lors de la fabrication de savons, réaction qui peut se résumer à :



Le glycérol, squelette moléculaire de nombreux composés naturels

La classe de molécules qui vient spontanément à l'esprit est celle des glycérolipides, encore appelés glycérides ou acylglycérols. Ces lipides sont construits à partir du glycérol, dont seulement deux fonctions alcool ont été estérifiées par des acides gras, la troisième portant un groupe polaire. Ce sont des molécules de stockage énergétique chez les animaux et les végétaux [3].

Dans le cas des phospholipides, le groupe polaire est un groupe phosphate, formant ainsi une molécule amphiphile et chargée. Les acides gras possèdent généralement 16 ou 18 atomes de carbone et peuvent comporter une ou plusieurs insaturations, non conjuguées en général.

Les glycérophospholipides correspondent à l'association de glycérol, de deux acides gras, d'un acide phosphorique et d'alcools ou d'acides aminés. Les alcools ou les acides aminés donnent l'identité et la caractéristique du glycérophospholipide. Parmi les acides aminés, on trouve la sérine, et parmi les alcools, on trouve l'inositol, l'éthanolamine et la choline. On obtient ainsi la phosphatidyl-sérine, le phosphatidyl-inositol, la phosphatidyl-éthanolamine et la phosphatidyl-choline ou lécithine (tableau 1).

Les phospholipides, composants essentiels des bicouches des membranes biologiques animales, forment des domaines

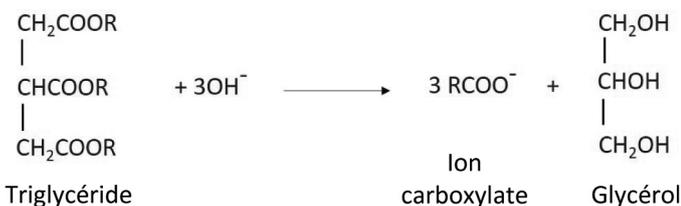


Figure 1 - Équation chimique de la saponification d'un triglycéride en ion carboxylate et en alcool ou hydrolyse d'un ester en milieu basique.

Tableau 1 - Composition en phospholipides de diverses sources alimentaires. Source : T. Bardeau, Phospholipides biosourcés riches en acides gras oméga 3 pour la formulation de liposomes, thèse de doctorat, Université de Bordeaux, 2015, <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01298731>.

Phospholipides (%)	Soja	Tournesol	Colza	Jaune d'œuf
Phosphatidylcholine	29-39	41	37	66-76
Phosphatidyléthanolamine	20-26	17	20	15-24
Phosphatidylinositol	13-18	23	22	-
Phosphatidylsérine	6	-	-	1
Autres	9	16	13	6-12

dynamiques qui régulent de nombreuses fonctions biologiques. Un lysophospholipide est un phospholipide dont l'un des résidus d'acide gras estérifiant un hydroxyle du glycérol a été hydrolysé par une phospholipase. Certains d'entre eux sont impliqués dans la signalisation cellulaire et dans l'activation d'enzymes. Les glycérolipides sont présents dans les plantes et les algues et ils permettent leur adaptation aux stress abiotiques [4-6]. Ce sont des agents de signalisation majeurs, impliqués dans de nombreuses réponses et régulations cellulaires (prolifération, apoptose) et dans la physiopathologie de maladies cardiovasculaires, inflammatoires ou de cancers [7].

Principaux usages du glycérol

Le glycérol se présente sous la forme d'un liquide incolore légèrement visqueux et au goût sucré. C'est un liquide newtonien ; sa viscosité est constante en fonction du taux de cisaillement qui lui est appliqué. Utilisé dans des préparations pharmaceutiques dès 1853, le glycérol est à la pharmacopée française et européenne (Ph. Eur. n° 0496). Les glycérophosphates ou sels des acides glycérophosphoriques ont été longtemps utilisés comme principes actifs dans le traitement des affections nerveuses (figure 2). En pharmacie, la trinitrine ou trinitroglycérine a été très largement prescrite pour l'angine de poitrine. Plus récemment, en mai 2018, le phénylbutyrate de glycérol a été autorisé pour des pathologies rares du cycle de l'urée impliquant des déficits enzymatiques chez l'enfant et l'adulte.

Aujourd'hui, le glycérol est utilisé comme excipient dans les médicaments. C'est un agent hydratant qui améliore l'onctuosité et la lubrification des préparations pharmaceutiques. C'est aussi un excipient du vaccin BCG contre la tuberculose. Le glycérol est également utilisé comme laxatif faible et dans des sirops favorisant l'expectoration. Par ailleurs, il fait partie des composés essentiels des gels hydroalcooliques permettant de lutter contre la propagation de la COVID-19 : la formule des solutions hydroalcooliques recommandée par l'OMS est à base d'éthanol, de peroxyde d'hydrogène, de glycérol et d'eau.

En dermatologie ou en ophtalmologie, les glycérolés sont historiquement des préparations semi-solides destinées à la peau et dont le véhicule est du glycérolé d'amidon.

En cosmétique, le glycérol est un humectant très utilisé dont l'activité a été prouvée. Son action est attribuée au pouvoir hygroscopique de la molécule et à une action plastifiante (il donne de la souplesse) des kératines. La présence de glycérol dans les espaces intercornéocytaires de la couche cornée inhibe la transformation des phases cristaux liquides en

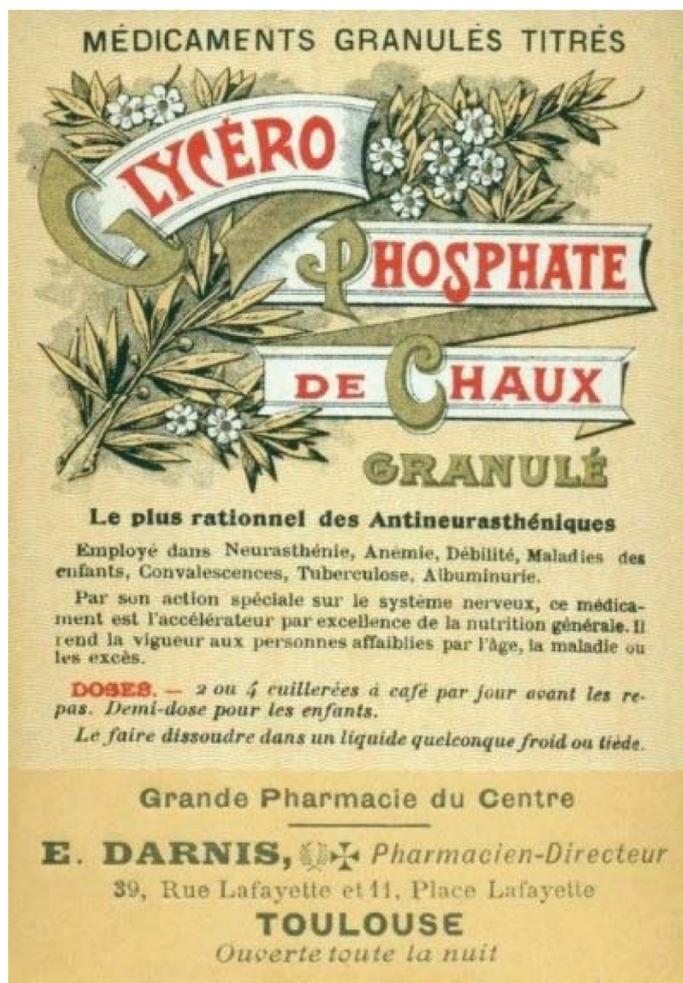


Figure 2 - Glycérophosphate de chaux. © Collection privée.

cristaux, augmentant la fluidité des bicouches et le piégeage de l'eau [8-9]. Le glycérol est très largement employé, seul ou en combinaison avec des glycols, dans la formulation des dentifrices, bains de bouche, crèmes hydratantes, produits capillaires et savons. On le retrouve dans les lotions après-rasage et crèmes pour le rasage pour ses propriétés apaisantes et hydratantes. Une de ses premières utilisations en cosmétique est due au pharmacien lyonnais Joseph Simon qui formula un glycérolé d'amidon enrichi d'oxyde de zinc et de parfum : la crème Simon (figure 3).

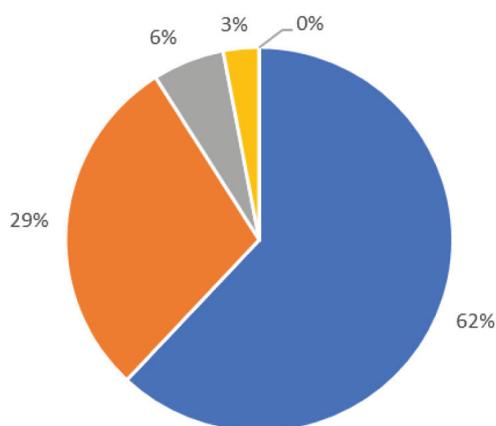
En alimentation, c'est un agent de rétention de l'humidité (humectant), un solvant (support d'arôme), un émulsifiant, stabilisant ou épaississant dans une large gamme de produits alimentaires. En Europe, il est utilisé comme additif alimentaire sous le numéro E422. Il est interdit en alimentation infantile.

Usages industriels du glycérol et impacts socioéconomiques

Au plan industriel, le glycérol et ses dérivés sont également employés comme agent plastifiant dans la formulation de lubrifiants, dans la synthèse de résines et d'explosifs (nitroglycérine), comme solvant pour les teintures et encres, dans la formulation de fluides antigel, tensioactifs (dérivés des mono- et diglycérides – éthoxylats ou sulfates). C'est un excellent solvant dans de nombreuses synthèses organiques, mais du fait de sa viscosité, il nécessite souvent l'usage d'un cosolvant [10]. C'est une ressource stratégique et la demande mondiale peut être tendue.



Figure 3 - Crème Simon. © Collection privée.



■ Biodiesel ■ Acides gras ■ Alcools gras ■ Saponification ■ Synthétique

Figure 4 - Origines du glycérol brut produit dans le monde en 2018 (3,8 millions de tonnes). Source : *Glycerine Report*, LCM, 2018.

En 2018, la production mondiale de glycérol brut a atteint 3,8 millions de tonnes, dont 674 000 t au niveau de l'Union européenne [11]. Il a été obtenu principalement à partir d'huiles végétales (biodiesel ou diester) (figure 4). En France, selon la base de données Mintel, depuis janvier 2020, 1 644 nouveaux produits cosmétiques (toutes catégories et marques confondues) mis sur le marché contiennent du glycérol dans leur formulation (tableau II). Avec la pandémie due à la COVID-19, l'industrie a prévenu les autorités sanitaires françaises dès le mois de mars 2020 du risque de pénurie sur le glycérol. Un décret a autorisé que la glycérine puisse être remplacée par du propylène glycol, du butylène glycol, du propanediol ou de la diglycérine. À l'heure actuelle, le glycérol synthétique est obtenu de dérivés de la pétrochimie, par exemple par conversion du propène.

Tableau II - Nombre de produits cosmétiques contenant du glycérol mis sur le marché français en 2020 par catégories d'utilisation. Source : Mintel (consulté en juin 2020).

Marché	Catégories de produits cosmétiques	Nombre de produits
France	Soins visage/cou	472
	Gels et produits de douche	152
	Soins du corps	144
	Shampoings	100
	Savons mains liquide	64
	Autres	712
	Total	

Le glycérol « naturel » peut être produit de plusieurs façons : par hydrolyse des triglycérides en milieu basique, par hydrolyse d'huiles végétales, par fermentation alcoolique des glucides et lors de la production de biocarburant comme l'ester méthylique d'huile végétale (le glycérol est un sous-produit représentant 10 % de matière). Il est proposé depuis une dizaine d'années comme un solvant vert [12].

Les esters de glycérols

La molécule de glycérol est une molécule de base pour de nombreuses synthèses. Nous limiterons notre propos aux dérivés simples de cette molécule. Les monoglycérides existent à l'état naturel mais à des taux faibles, contrairement aux triglycérides [13].

Mono-, di- et triglycérides : de nouvelles applications

Les glycérides sont des esters du glycérol ; chacune des trois fonctions du glycérol peut être estérifiée par un acide gras, conduisant à un mono-, di- ou triglycéride. Les acides gras portés par les fonctions 1, 2 ou 3 peuvent être identiques ou différents (figure 5). L'alcool étant le même dans tous les triglycérides, les différentes propriétés seront dues essentiellement à la nature des acides gras servant à l'estérification. Ils peuvent être synthétisés par voie enzymatique et sont donc compatibles avec les critères de respect de l'environnement attendus aujourd'hui.

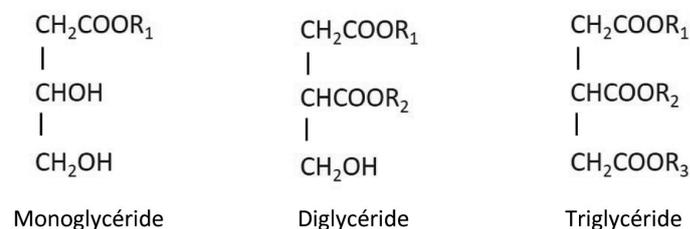


Figure 5 - Structure des mono-, di- et triglycérides, où R_1 , R_2 et R_3 sont des acides gras.

Les monoglycérides insaturés sont des émulsifiants amphiphiles qui peuvent intégrer de nombreuses molécules lipophiles (vitamines, terpènes, alcanes). Les recherches françaises des années 1960-1980, menées par le groupe de Vittorio Luzzati, ont permis d'appréhender de nombreuses structures au sein de diagrammes de phases. Selon les conditions, les mésophases peuvent être cubiques, hexagonales,

micellaires... Certains monoglycérides sont capables de former plusieurs sortes d'auto-assemblages pouvant incorporer des molécules d'intérêt. Il est cependant nécessaire d'atteindre la CAC (concentration d'agrégation critique) au-delà de laquelle l'interface est entièrement couverte par des émulsifiants. L'interface ne présentant plus d'espaces libres, l'addition d'émulsifiants entraînera leur solubilisation dans la phase continue, sous forme de monomères ou d'auto-assemblages. Il est également souhaitable de dépasser la température de Krafft, température au-delà de laquelle les molécules tensioactives se solubilisent et sont capables de s'auto-assembler [14-16].

L'ester glycérique d'acide gras tel que le monolaurate de glycérol (GML) ou monolaurine est une substance pratiquement inodore de consistance cireuse. Avec le diglycéryl monocaprylate (DMC), ils sont utilisés comme bactériostatique en cosmétique dans les déodorants [17], les laits hydratants, les démaquillants et les crèmes cosmétiques. Le GML, composé présent en forte concentration dans le lait maternel, est un remarquable antibactérien naturel avec des propriétés immuno-régulatrices. Le niveau élevé de ce monoglycéride est spécifique au lait maternel humain et inhibe la croissance des bactéries pathogènes Gram+ et Gram-. Le GML est sélectif ; il combat les bactéries pathogènes tout en permettant aux espèces bénéfiques de se développer. Ainsi, les bébés nourris au lait maternel humain présentent un microbiote avec des taux élevés d'espèces bactériennes bénéfiques [18]. Le GML réduit la production d'exotoxine, limite la formation de biofilm et est également un virucide à spectre large. Comme d'autres monoglycérides, en interférant sur l'enveloppe du virus, il limite les interactions avec l'enveloppe de l'hôte et donc la réplication virale. Cette action pourrait être renforcée par une association avec des molécules leurres capables de capter les virus ou des terpènes.

Les mono- et diglycérides sont très utilisés en Europe comme additif alimentaire sous le numéro E471. Ce dernier sert de support pour colorants, d'antimoussant, ou encore de stabilisant. On l'utilise aussi dans la production de viennoiseries (pain aux raisins, au chocolat, croissant, etc.), où le rôle de l'émulsifiant est d'alléger la pâte. Plus cette pâte sera moelleuse, moins le pain sera rapidement rassis. On trouve aussi les émulsifiants dans les crèmes desserts : ils servent à introduire une grande quantité d'eau afin d'obtenir une crème légèrement onctueuse contenant moins de gras, améliorant ainsi son score nutritionnel. Dans la confiture, ils permettent d'obtenir les textures gélatineuses [19-20].

Les triglycérides sont une catégorie un peu particulière car ce sont des molécules plus répandues. Un corps gras (huile ou graisse) présente une grande variété de constituants, avec en majorité des triglycérides (95-99 %) ; ils sont composés de glycérol (3-5 %) et d'acides gras (90-95 %) [21]. Dans les années 1970, les acides gras essentiels portaient le nom de « vitamine F » ; aujourd'hui, la classification dite Ω (oméga) fait l'unanimité au niveau de la nomenclature et repose sur leur degré et leur position de double liaison. Le classement des acides gras poly-insaturés est réalisé en séries Ω 3 et Ω 6. L'insaturation ou la première insaturation des acides gras insaturés est repérée par rapport au carbone de l'extrémité de la chaîne opposée au carbone du groupe fonctionnel carboxyle. Ainsi, l'acide linoléique est Ω 6 et l'acide linoléique est Ω 3 [22].

Les triglycérides sont des lipides indispensables à l'organisme. Permettant le stockage des acides gras, ils constituent une

réserve importante d'énergie. Ils peuvent provenir de l'alimentation, mais également être synthétisés par l'organisme. Un excès de triglycérides dans le sang expose l'organisme à des complications ; l'hypertriglycéridémie constitue un facteur de risque cardiovasculaire [23].

En pharmacie, les triglycérides sont utilisés dans la fabrication des suppositoires, des capsules, des implants, comme solvant de principes actifs hydrophobes (hormones, vitamines) et comme agent texturant. Les huiles végétales (sésame, olive, soja) et des triglycérides répondant aux normes des pharmacopées sont également utilisés pour la préparation d'émulsions lipidiques injectables destinées à la nutrition parentérale. Ces huiles donnent ainsi accès à une grande diversité d'acides gras fonctionnels [24].

Dans les produits cosmétiques comme le lait hydratant ou démaquillant et toutes sortes de crèmes cosmétiques, les huiles estérifiées sont généralement utilisées pour leur texture, leur éventuelle volatilité et le soyeux de leur toucher. Comme tous les corps gras, ce sont des émoullissants (assouplissant la peau et les cheveux). Ce sont également des véhicules ou solvants très efficaces pour certains actifs liposolubles, des facilitateurs d'étalement et de pénétration et des agents de brillance. Les huiles d'origine végétale sont utilisées en émulsion dans les crèmes, les lotions et dans la formulation des rouges à lèvres, des mascaras...

Quelques agro-tensioactifs dérivés du glycérol

Les agro-tensioactifs se définissent comme des tensioactifs issus de matières agricoles. Ils sont renouvelables, de faible toxicité et écotoxicité, et d'une biodégradabilité supérieure à celle des tensioactifs issus de la pétrochimie. Ils entrent dans les formules de produits détergents industriels ou ménagers.

Le polyglycérol

Les polyglycérols sont généralement préparés par polymérisation alcaline du glycérol à des températures élevées [25]. En l'état ou estérifié, ils ont de bonnes propriétés en tant qu'émulsifiant ou même en tant que lubrifiant. Suivant leur structure, on peut en effet obtenir une très large gamme d'indices HLB (ou équilibre hydrophile/lipophile), de 1 à 15 environ. Ils tendent à remplacer les alkylphénols éthoxylés dans l'industrie agroalimentaire, des peintures, des pâtes à papier, l'extraction pétrolière, et à moindre mesure dans l'industrie cosmétique. En effet, certains ont été inscrits à la liste des substances de l'Annexe XIV du Règlement REACH et leur utilisation sera donc soumise à autorisation à compter du 4 janvier 2021.

Les esters de polyglycérol

On trouve une large gamme d'esters de polyglycérol et l'obtention de ces molécules peut se faire maintenant par un procédé de chimie verte [26]. Ils sont utilisés notamment dans l'industrie agroalimentaire et la cosmétique comme émulsifiant.

Le polyglycéryl-3 polyricinoléate

Cet émulsifiant, stabilisant des émulsions eau dans huile, est fabriqué à partir de glycérol et d'acide ricinoléique (à partir de l'huile de ricin) et est utilisé dans des produits cosmétiques (fonds de teint, produits solaires ou contenant des filtres), dans les rouges à lèvres [27] et des produits pharmaceutiques. Dans l'industrie alimentaire, sous le numéro E476, c'est un

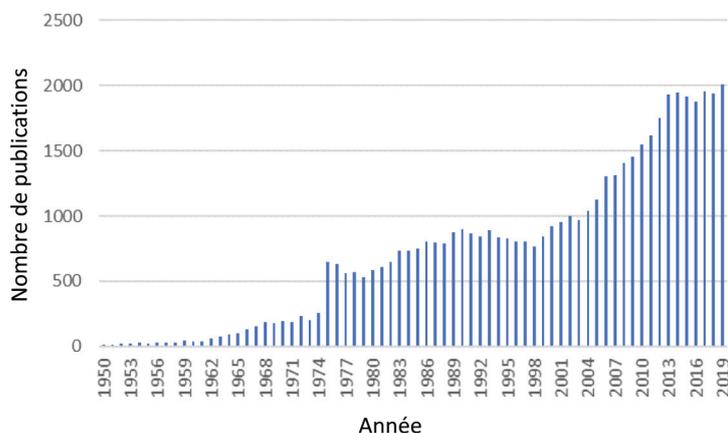


Figure 6 - Nombre de publications scientifiques avec glycérol ou glycérine dans leur titre ou résumé entre 1950 et 2019. Source : PubMed, juin 2020.

émulsifiant employé plus particulièrement pour stabiliser les émulsions eau dans huile. Il est utilisé dans la fabrication de chocolat pour rendre la masse fluide et homogène. Il est soupçonné de modifier la perméabilité de la barrière intestinale et de promouvoir des maladies inflammatoires chroniques de l'intestin.

Le glycérol sous-produit des biodiesel

Les biodiesel sont en général des esters méthyliques, obtenus à partir d'huiles végétales extraites de graines ou fruits oléagineux par un processus chimique consistant à débarrasser l'huile végétale de son glycérol.

La réaction de transestérification, ou alcoololyse, est une réaction entre un ester et un alcool conduisant à un ester différent. Dans notre cas, il s'agit de la réaction entre le triglycéride contenu dans une huile végétale avec un alcool pour former le glycérol et le mélange de monoesters utilisés comme biocarburant [28].

La fabrication des biodiesel est assurée majoritairement à partir d'huiles de colza et de soja, et en moindre proportion d'huiles de tournesol et de palme. Ils peuvent également être produits à partir d'huiles alimentaires usagées ou de graisses animales [29].

Et demain ?

Selon la base de données PubMed, comme le montre la figure 6, le nombre de publications contenant dans leurs titres et/ou résumés le mot glycérol et/ou glycérine est exponentiel. Depuis les années 1960, le monde scientifique porte un grand intérêt à cette molécule découverte il y a plus de deux siècles. C'est pour diverses raisons que nous retrouvons le glycérol et quelques dérivés de synthèse dans tous les domaines de la cosmétique, de la pharmacie, de l'alimentaire, de la détergence... et aujourd'hui dans la lutte contre les virus.

Cet article est dédié à la mémoire de Jean-François Tranchant et Pierre Perrier.

[1] M.E. Chevreul, *Recherches chimiques sur les corps gras d'origine animale*, Éd. F.G. Levrault, Paris, 1823.

[2] C. Bedel, La vie de Berthelot, *Revue d'histoire de la pharmacie*, 1953, 138, p. 97-101.

[3] J.R. Barone, W.F. Schmidt, C.F.E. Liebner, Thermally processed keratin films, *Appl. Polymer Sci.*, 2005, 97, p. 1644-1651, <https://doi.org/10.1002/app.21901>.

[4] R. Bittman, Glycerolipids: Chemistry, In *Encyclopedia of Biophysics*, G.C.K. Roberts (ed.), Springer, 2013, https://doi.org/10.1007/978-3-642-16712-6_527.

[5] Y. Higashi, K. Saito, Lipidomic studies of membrane glycerolipids in plant leaves under heat stress, *Prog. Lipid Res.*, 2019, 75, 100990, <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2019.100990>.

[6] I.M. López-Lara, O. Geiger, Bacterial lipid diversity, *Biochim. Biophys. Acta - Mol. Cell Biol. Lipids*, 2017, 1862, p. 1287-1299, <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2016.10.007>.

[7] S.K. Mishra et al., Emerging roles for human glycolipid transfer protein superfamily members in the regulation of autophagy, inflammation, and cell death, *Prog. Lipid Res.*, 2020, 78, 101031, <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2020.101031>.

[8] M.C. Martini, Agents hydratants, In *Actifs et additifs en cosmétologie*, 3^e éd., M.C. Martini, M. Seiller (eds), Lavoisier, 2006, p. 434-456.

[9] S. Verdier-Sévrain, F. Bonté, Skin hydration: a review on its molecular mechanisms, *J. Cosmet. Dermatol.*, 2007, 6, p. 75-82, <https://doi.org/10.1111/j.1473-2165.2007.00300.x>.

[10] A. Kokel, B. Török, Sustainable production of fine chemicals and materials using nontoxic renewable sources, *Toxicol. Sci.*, 2018, 161, p. 214-224, <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfx214>.

[11] www.lelementarium.fr/product/glycerol

[12] Y. Gu, F. Jérôme, Glycerol as a sustainable solvent for green chemistry, *Green Chem.*, 2010, 12, p. 1127-1138, <https://doi.org/10.1039/C001628D>.

[13] www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/Glycerides%20TR%202015.pdf

[14] V. Luzzati, F. Husson, The structure of the liquid-crystalline phases of lipid-water systems, *J. Cell Biol.*, 1962, 12, p. 207-219, <https://doi.org/10.1083/jcb.12.2.207>.

[15] V. Luzzati et al., Structure of the cubic phases of lipid-water systems, *Nature*, 1968, 220, p. 485-488.

[16] S. Serieye, Intégration de molécules fonctionnelles dans des auto-assemblages émulsionnés de monoglycérides : évolution structurale et rôle de l'interface, thèse de doctorat, Université d'Orléans, 2012, <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00835072>.

[17] S. Untiedt, I. Gérard, Déodorant et antitranspirants, In *Actifs et additifs en cosmétologie*, 3^e éd., M.C. Martini, M. Seiller (coord.), Lavoisier, Tec & Doc, 2006, p. 539-558.

[18] P.M. Schlievert et al., Glycerol monolaurate contributes to the antimicrobial and anti-inflammatory activity of human milk, *Scientific Reports*, 2019, 9, 14550, <https://doi.org/10.1038/s41598-019-51130-y>.

[19] M.E. Leser et al., Self-assembly of polar food lipids, *Adv. Colloid Interface Sci.*, 2006, 123-126, p. 125-136, <https://doi.org/10.1016/j.cis.2006.07.003>.

[20] L. Sagalowicz et al., Lipid self-assembled structures for reactivity control in food, *Philos. Trans. A Math. Phys. Eng. Sci.*, 2016, 374, 20150136, <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0136>.

[21] O. Morin, X. Pagès-Xatart-Parès, Huiles et corps gras végétaux : ressources fonctionnelles et intérêt nutritionnel, *OCL*, 2012, 19, p. 63-75, <https://doi.org/10.1051/ocl.2012.0446>.

[22] C. Cuvelier et al., Acides gras : nomenclature et sources alimentaires, *Ann. Méd. Vét.*, 2004, 148, p. 133-140.

[23] R. Valéro, Triglycérides et risque cardiovasculaire - Triglycerides and cardiovascular risk, *Médecine des Maladies Métaboliques*, 2019, 13, p. 123-128, [https://doi.org/10.1016/S1957-2557\(19\)30041-0](https://doi.org/10.1016/S1957-2557(19)30041-0).

[24] A. Le Hir et al., *Pharmacie galénique. Bonnes pratiques de fabrication des médicaments*, 10^e éd., Elsevier Masson, 2016.

[25] K. Christiansen, V. Norn, A process of preparing oligomeric and/or polymeric polyol compounds and their use in the production of emulsifying agents and surfactants, *Eur. Pat. EP0732318A1*, 1996.

[26] E. Canivenc, Method for producing ester(s) of polyglycerol, *Eur. Pat. EP3115355A1*, 2016.

[27] B.J.D. Le Révérend, M.S. Taylor, I.T. Norton, Design and application of water-in-oil emulsions for use in lipstick formulations, *Int. J. Cosmet. Sci.*, 2011, 33, p. 263-268, <https://doi.org/10.1111/j.1468-2494.2010.00624.x>.

[28] S.X. Tan et al., State of the art review on development of ultrasound-assisted catalytic transesterification process for biodiesel production, *Fuel*, 2019, 235, p. 886-907, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.08.021>.

[29] Biocarburants, www.ecologique-solaire.gouv.fr/biocarburants#e2

Jean-Christophe ARCHAMBAULT et **Frédéric BONTÉ***,
Prospective scientifique LVMH Recherche, Saint-Jean de Braye.
Frédéric BONTÉ est membre de l'Académie nationale de pharmacie.

*fredericbonte@research.lvmh-pc.com