

Les huiles essentielles : renaissance d'ingrédients naturels et durables

Essential oils: the renaissance of natural and sustainable ingredients

Miriana Kfoury¹, Sophie Fourmentin²

¹ Unité de Chimie Environnementale et Interactions sur le Vivant (UCEIV), UR 4492, miriana.kfoury@univ-littoral.fr

² Université du Littoral-Côte d'Opale, Dunkerque, France, lamotte@univ-littoral.fr

RÉSUMÉ. Après avoir cédé leur place aux produits de synthèse entre les années 1930 et 1960, les huiles essentielles, connues depuis l'antiquité, reviennent en grâce. Ces dernières décennies, le marché des huiles essentielles a cru constamment grâce notamment à l'engouement pour les composés naturels. En effet, ces extraits de plantes aromatiques sont devenus des matières premières incontournables pour le développement de produits durables et éco-compatibles. Ceci est dû non seulement à leurs vertus aromatiques, mais également à leurs bienfaits polyvalents et à leur large spectre d'action contre les microorganismes, les insectes, etc. Cet article présente la renaissance et le développement du marché des huiles essentielles en mettant l'accent sur la filière française. Il s'attache ensuite à faire une synthèse des facteurs pouvant avoir une influence sur cette filière, tels que ceux déterminants pour l'élargissement de l'application des huiles essentielles dans l'aromathérapie, les industries alimentaire, pharmaceutique et cosmétique ainsi que les produits phytosanitaires. Il examine également les contraintes qui pourraient affaiblir la filière, telles que les variations climatiques, l'envol des prix ou l'apparition de nouvelles réglementations sont également abordés. Enfin, il présente un aperçu rapide sur l'intérêt de l'encapsulation moléculaire dans les cyclodextrines afin de s'affranchir des limites liées aux propriétés intrinsèques des huiles essentielles.

ABSTRACT. The use of essential oils dates back to ancient times. Between the 1930s and 1960s however, they lost popularity to synthetic chemicals. But now – essential oils are making a comeback. The global essential oils market has grown steadily in the last decades thanks, in particular, to the rise in demand for natural compounds. As a matter of fact, these aromatic plant extracts have become unavoidable raw materials in the development of sustainable and eco-friendly products. This is not only due to their aromatic properties, but also thanks to their multi-purpose benefits and broad spectrum of action against micro-organisms, insects, etc. This article presents the renaissance and development of the essential oils market, focusing on the French sector. It then summarizes the factors that could influence this sector, such as those that determine the expansion of the use of essential oils in aromatherapy, the food, pharmaceutical and cosmetic industries, as well as plant health products. It also discusses constraints that could weaken the sector, such as climatic variations, price hikes or the emergence of new regulations. Finally, we give a brief overview of the importance of molecular encapsulation in cyclodextrins in order to overcome the limitations associated with the intrinsic properties of essential oils.

MOTS-CLÉS. Huiles essentielles, éco-compatibilité, durabilité, limitations, filière.

KEYWORDS. Essential oils, eco-friendly, sustainability, limitations, sector.

1. Introduction

Il a fallu attendre le « malheureux » accident¹ du père de l'aromathérapie, René-Maurice Gattefossé au début des années 1900s, pour redécouvrir les bienfaits des huiles essentielles. Ces composés étaient déjà appréciés de nombreuses civilisations depuis l'Égypte ancienne (4500 av. J.-C.) en passant par la civilisation chinoise (2800 av. J.-C.), les civilisations américaines (Incas, Mayas et Aztèques) (1000 av. J.-C.), les Grecs (300 av. J.-C.) et les Romains (150 av. J.-C.) ainsi que le moyen-âge et la renaissance moyen-orientale et européenne. Ces civilisations ont non

¹ En 1910, René-Maurice Gattefossé se brûla les mains lors d'une explosion dans son laboratoire. Suite à cet accident et sans réfléchir il plongea ses mains dans un seau d'huile essentielle de Lavande. Le soulagement a été instantané et la guérison de la plaie très rapide. Il décida donc d'étudier les huiles essentielles et leurs propriétés et publiera son premier ouvrage, intitulé Aromathérapie, en 1931. C'est le premier ouvrage qui met en évidence la relation entre les activités des huiles essentielles et leurs composants biochimiques.

seulement développé la médecine par les huiles essentielles, mais également utilisé ces dernières dans la parfumerie, les embaumements ainsi que dans les pratiques de séduction et dans la religion. Si au début du XX^{ème} siècle leur utilisation a largement décliné, suite aux progrès incroyables liés à l'utilisation de produits chimiques, mais également du fait des croyances reliant leur utilisation à la sorcellerie, la magie et aux symboles religieux, les huiles essentielles connaissent actuellement une renaissance inédite poussée par l'évolution des mentalités et l'envie de revenir au naturel.

La première partie de cet article présente quelques généralités sur les huiles essentielles, leur marché mondial et leur filière, notamment en France. La seconde partie s'attache à analyser les différents facteurs susceptibles d'avoir un impact positif ou négatif sur le développement des huiles essentielles et présente quelques applications dans des secteurs variés. La dernière partie présente la stratégie d'encapsulation moléculaire qui permet de moduler les propriétés des huiles essentielles afin de s'affranchir de certaines limitations à leur utilisation.

2. Les huiles essentielles

2.1. Définitions

Les huiles essentielles sont des sécrétions naturelles élaborées par les différents organes (feuilles, fruits, racines, pétales, etc.) des plantes aromatiques. Il existe plusieurs définitions pour les caractériser. Selon l'Agence Nationale de Sécurité du Médicament et des produits de santé (ANSM), une huile essentielle est un : « *produit odorant, généralement de composition complexe, obtenu à partir d'une matière première végétale botaniquement définie, soit par entraînement à la vapeur d'eau, soit par distillation sèche, soit par un procédé mécanique approprié sans chauffage. L'huile essentielle est le plus souvent séparée de la phase aqueuse par un procédé physique n'entraînant pas de changement significatif de sa composition* ».

L'Association française de Normalisation (AFNOR) donne une définition précise et officielle de l'huile essentielle : « *produit obtenu à partir d'une matière première naturelle d'origine végétale, soit par entraînement à la vapeur d'eau, soit par des procédés mécaniques à partir de l'épicarpe de fruits de citrus (agrumes), soit par distillation sèche, après séparation de l'éventuelle phase aqueuse par des procédés physiques n'entraînant pas de changement significatif de sa composition* ».

Enfin pour l'Agence européenne des Produits Chimiques (ECHA) : « *Une huile essentielle est définie comme une partie volatile d'un produit naturel, qui peut être obtenue par distillation, distillation à la vapeur ou expression dans le cas d'agrumes. Elle contient principalement des hydrocarbures volatils. Les huiles essentielles sont dérivées de diverses sections de plantes. L'huile est « essentielle » dans le sens où elle comporte une odeur distinctive, ou essence de la plante* ».

2.2. Composition

Ces définitions démontrent d'une part la complexité de composition des huiles essentielles et d'autre part les différents procédés de leur obtention. En effet, chaque huile essentielle comprend plusieurs composés organiques possédant des structures et des fonctions chimiques très différentes. Les deux principales familles chimiques rencontrées sont les composés terpéniques (les molécules les plus répandues) et les composés aromatiques dérivés du phénylpropane (les phénylpropanoïdes). Une huile essentielle peut contenir plusieurs centaines de constituants ou être très riche en un constituant donné, comme dans le cas de l'huile essentielle de clou de girofle, très riche en eugénol. Le plus souvent, les huiles essentielles contiennent quelques constituants principaux, représentant des proportions comprises entre 10 et 50 %, et des constituants à l'état de traces. Les huiles essentielles sont donc un cocktail de molécules actives.

La Figure 1 montre quelques exemples d'huiles essentielles les plus utilisées, leur constituant principal et sa structure chimique.

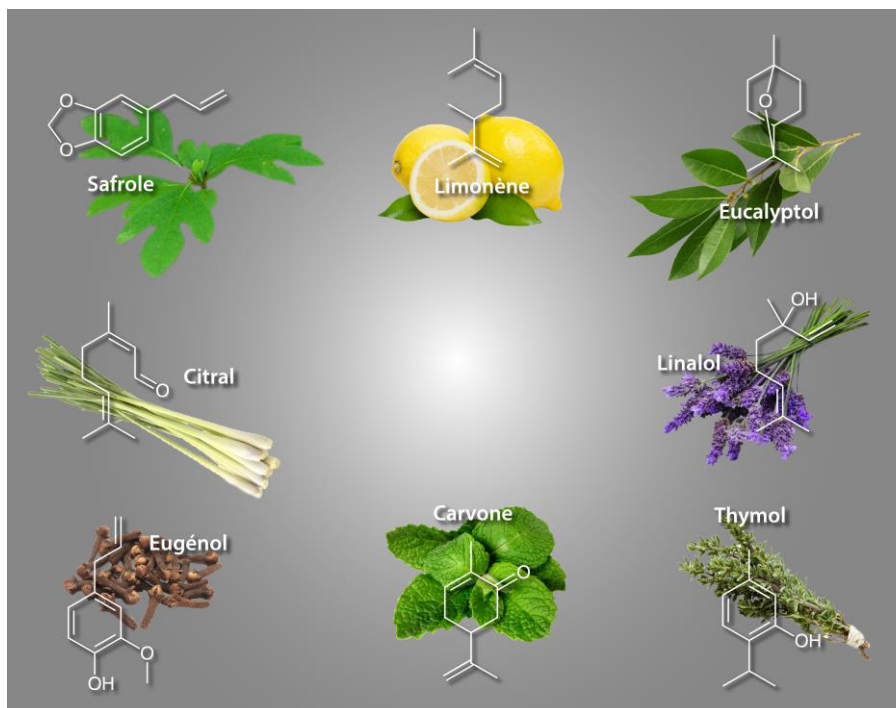


Figure 1. Exemple d'huiles essentielles et de leur constituant majoritaire

2.3. Obtention

Il existe plusieurs procédés d'obtention des huiles essentielles qui ont évolué de l'artisanat à l'industrie en utilisant des techniques toujours plus perfectionnées au fur et à mesure des découvertes scientifiques. Ces méthodes peuvent varier en fonction de la plante ou partie de plante que l'on veut utiliser [BUR 19]. Une huile essentielle peut être obtenue par hydrodistillation, distillation à la vapeur d'eau, enfleurage, expression mécanique à froid, extraction aux solvants volatils ou au CO₂ supercritique. Les méthodes d'extraction peuvent également être assistées par ultrasons ou micro-ondes, ce qui permet souvent d'améliorer le rendement d'extraction, de consommer moins de solvants ou d'énergie [CHE 15].

La technique la plus utilisée est la distillation, mais cette méthode ne peut pas être employée pour l'obtention d'huiles essentielles contenant des composés fragiles (hydrolysables notamment). Ainsi l'expression à froid est privilégiée pour l'extraction d'huiles essentielles à partir de fruits d'agrumes.

Il convient de noter que la teneur des végétaux en huiles essentielles reste généralement infime, comprise entre 0,01% (pétales de rose) et 1% (clou de girofle). Ainsi, pour obtenir un kilo d'huile essentielle pure, il faut distiller entre 4 et 7 tonnes de pétales de roses, de 115 à 200 kg de lavande, ou encore 1 tonne de fleurs d'oranger.

2.4. Marché des huiles essentielles

Les huiles essentielles représentent un marché mondial en pleine croissance avec une prévision de plus de 14 milliards de dollars en 2024 [TUR 21]. La production mondiale d'huiles essentielles aurait triplé entre 1990 (environ 45 000 tonnes) et 2017 (environ 150 000 tonnes) [BAR 18]. Les études et estimations récentes prévoient que celle-ci pourrait continuer à augmenter significativement, du fait d'une demande mondiale croissante qui pourrait atteindre 473 000 tonnes en 2027 [FER 22].

En 2020, les États-Unis, la France, l'Allemagne, les Pays-Bas et la Chine étaient, en valeur, les cinq principaux pays importateurs d'huiles essentielles, les États-Unis, la France, l'Inde, la Chine et les Pays-Bas, les cinq principaux pays exportateurs. Certains pays exportateurs sont cependant des pays de transit comme les Pays-Bas, l'Allemagne ou le Royaume-Uni. Les États-Unis se retrouvent

donc en première place des importations et exportations d'huiles essentielles avec respectivement (en valeur) 21% et 17% des importations et exportations mondiales et la France en deuxième position avec 8,5% et 10,5% des importations et exportations mondiales [FRA 20]. Les États-Unis (40%), l'Europe occidentale (30%) et le Japon (7%) sont les principaux consommateurs d'huiles essentielles [KAN 22]. Plusieurs pays exportent de grandes quantités en volume tel que le Brésil avec l'huile essentielle d'orange qui se retrouve en septième position des pays exportateurs avec 4,7% de part de marché en valeur.

Actuellement, environ 150 huiles essentielles sont couramment commercialisées. Les trois principales représentent près de 90% de la production totale d'huiles essentielles en raison de leurs débouchés considérables dans l'industrie alimentaire, principalement dans les boissons. Il s'agit des huiles essentielles d'agrumes (orange et citron) et de menthe (Tableau 1).

Huile essentielle	Production (Tonnes)	Pays producteurs
Orange (douce)	49000	Brésil, États-Unis, Dominique, Italie, Espagne, Israël, Argentine
Menthe <i>Arvensis</i>	42000	Inde, Chine, Brésil
Citron	9000	Argentine, Italie, États-Unis, Brésil, Israël
Eucalyptus (<i>globulus</i>)	4000	Chine, Inde, Australie, Brésil
Menthe poivrée	3500	Inde, États-Unis
Citronnelle	3000	Chine, Indonésie, Inde
Clou de girofle	2500	Madagascar, Indonésie, Tanzanie, Sri Lanka, Inde
Menthe douce/verte	2000	États-Unis, Inde, Chine
Cèdre	2000	Chine, États-Unis, Inde, Maroc
Lavandin	1700	France, Espagne
Patchouli	1400	Indonésie, Chine, Malaisie
Lime	1000	Mexique, Pérou, USA, Haïti, Brésil, Cuba, Côte d'Ivoire, Italie, Inde
Lavande	830	Bulgarie, France, Afrique du Sud, Chine
Muscade	400	USA, Indonésie, Sri Lanka, Inde
Pamplemousse	400	Israël, Brésil, USA
Tea tree	400	Australie
Lemongrass	350	Inde, Chine, Guatemala
Tangerine	350	Brésil, Espagne, Mexique
Romarin	200	Espagne, Tunisie, Maroc
Vétiver	200	Haïti, Indonésie, Chine, Inde, France (Réunion), Brésil
Mandarine	100	Argentine, Italie
Sauge sclérée	80	Russie, France
Lavande aspic	20	Espagne, France
Camomille romaine	12	Maroc, Égypte, Belgique, Italie, France
Néroli	4	Espagne, Paraguay, Tunisie

Tableau 1. Liste non exhaustive des productions d'huiles essentielles en 2019. Source : Estimation FranceAgriMer à partir d'enquêtes d'experts [FRA 20].

2.5. La filière des huiles essentielles en France

La filière des huiles essentielles en France s'inscrit dans celle plus large des Plantes à Parfum, Aromatiques et Médicinales (PPAM). La France est un acteur majeur du marché mondial, puisqu'en 2020, elle était placée à la deuxième place des importations et des exportations en valeur. Notamment spécialisé dans la production d'huile essentielle de lavande, le marché français affiche des niveaux de production en augmentation et une demande solide, avec ses 30 000 hectares de culture de lavande et lavandin en 2020, en hausse de 7% par rapport à 2019. Au premier semestre de 2021, la France a connu une croissance du chiffre d'affaires de fabrication d'huiles essentielles de 7,7% par rapport à 2020, montrant ainsi que le dynamisme de ce marché est bien présent [FRA 20].

La France a importé 8 951 tonnes d'huiles essentielles pour une valeur totale de 322 millions d'euros en 2020 et exporté 6 200 tonnes pour 387 millions d'euros. La balance commerciale de la France est excédentaire en valeur et déficitaire en quantité : la France exporte des huiles essentielles de plus fortes valeurs que celles importées. Les principaux fournisseurs de la France sont l'Inde (menthe, anis, rose...), l'Italie (agrumes), la Chine (eucalyptus), l'Indonésie, l'Espagne, la Belgique, les États-Unis, le Maroc et le Madagascar. La France exporte principalement des huiles essentielles de lavande et lavandin. Les États-Unis et l'Allemagne sont les deux premiers clients de la France, suivis des pays d'Europe, du Japon et du Brésil.

La production d'huiles essentielles représente un secteur porteur à l'échelle du marché économique. En France, par exemple, le seul secteur « lavande et lavandin », pourrait générer ainsi plus de 9 000 emplois directs et plus de 17 000 emplois indirects issus de l'activité touristique et de la production de miel. Ce secteur contribue également à maintenir des activités dans certains territoires ruraux.

On distingue plusieurs acteurs sur le marché, ayant des positionnements souvent bien distincts :

- Les producteurs de matières premières végétales (fleurs et plantes destinées à la production d'huiles essentielles).
- Les producteurs d'huiles essentielles qui distillent ou pressent à froid les fleurs et plantes. Ils sont de taille variable, de l'artisan aux grands groupes industriels.
- Les entreprises consommatrices d'huiles essentielles provenant de diverses industries (cosmétiques, pharmaceutiques, agroalimentaires).

Les huiles essentielles trouvent des débouchés dans des secteurs très variés. La Figure 2 illustre la répartition du marché des huiles essentielles en valeur en 2015 dans différents secteurs.

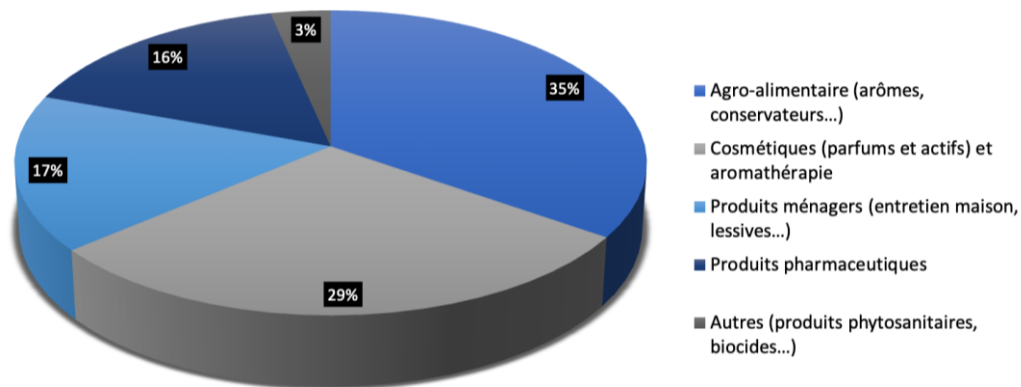


Figure 2. Répartition du marché des huiles essentielles en valeur en 2015 selon les secteurs [FRA 20].

Le premier secteur est l'agroalimentaire (avec 35% des débouchés) suivi par le secteur de la cosmétique et de l'aromathérapie (29%). Les huiles essentielles peuvent être utilisées de différentes façons : par diffusion, par inhalation, par massage, ou encore en cuisine. Le marché mondial des huiles essentielles est en plein essor, porté notamment par les tendances du bio, du naturel et du fait maison, ou encore par la tendance de l'aromathérapie.

Les grands acteurs français du secteur sont Mane (CA 2018 : 490 M€), Robertet (CA 2018 : 246 M€) et Reynaud (CA 2018 : 73 M€). Des groupes étrangers sont aussi présents en France au travers de leurs filiales ou grâce au rachat de sociétés, comme Givaudan (Suisse, CA 2018 : 5133 M€), Firmenich (Suisse, CA 2018 : 3437 M€) ou IFF (USA, CA 2018 : 4365 M€) (www.societe.com, 2020). Le Tableau ci-dessous liste les principaux producteurs mondiaux d'arômes et de parfums en

2017 [CAN 20]. Parmi les 10 premières compagnies, deux sont Françaises et existent depuis 1871 pour Mane S.A. et 1850 pour Robertet S.A.. Si l'on regarde le total des ventes de ces 10 compagnies, celui-ci a été multiplié par 2 en dix ans.

Position	Compagnie	Ventes en millions d'euros
1	Givaudan S.A. (Vernier, Suisse)	4470
2	Firmenich S.A. (Genève, Suisse)	3120
3	International Flavors and Fragrances (New York, US)	2890
4	Symrise AG (Holzminden, Allemagne)	2890
5	Mane S.A. (Le Bar-sur-Loup, France)	1110
6	Frutarom Industries Ltd (Haifa, Israel)	1280
7	Takasago International Corporation (Tokyo, Japon)	1040
8	Sensient Technologies Flavors & Fragrances (Milwaukee, US)	530
9	Robertet S.A. (Grasse, France)	490
10	T. Hasegawa Co Ltd (Tokyo, Japon)	360

Tableau 2. Principaux producteurs d'arômes et de parfums mondiaux en 2017 avec le total de leur vente [CAN 20].

La production d'huiles essentielles s'étend des régions « traditionnelles » vers toute la France ce qui permet d'augmenter la biodiversité agricole en ayant une production locale. On voit notamment de nouvelles filières se développer dans la région Île-de-France comme à Milly-la-Forêt, où la production de plantes médicinales a été relocalisée avec une distillation également réalisée sur place. Les surfaces cultivées ont ainsi fortement augmenté en France, et dans le monde, notamment depuis l'explosion de l'aromathérapie.

Dans la plupart des pays producteurs, il existe souvent de longues chaînes d'approvisionnement qui partent de petits producteurs, qui ne produisent parfois que quelques kilos d'huiles essentielles, et qui vendent ensuite leur production à un négociant. À côté de ces chaînes longues, on observe également des circuits courts avec la vente directe aux consommateurs sur des marchés ou dans des magasins de producteurs (Figure 3).

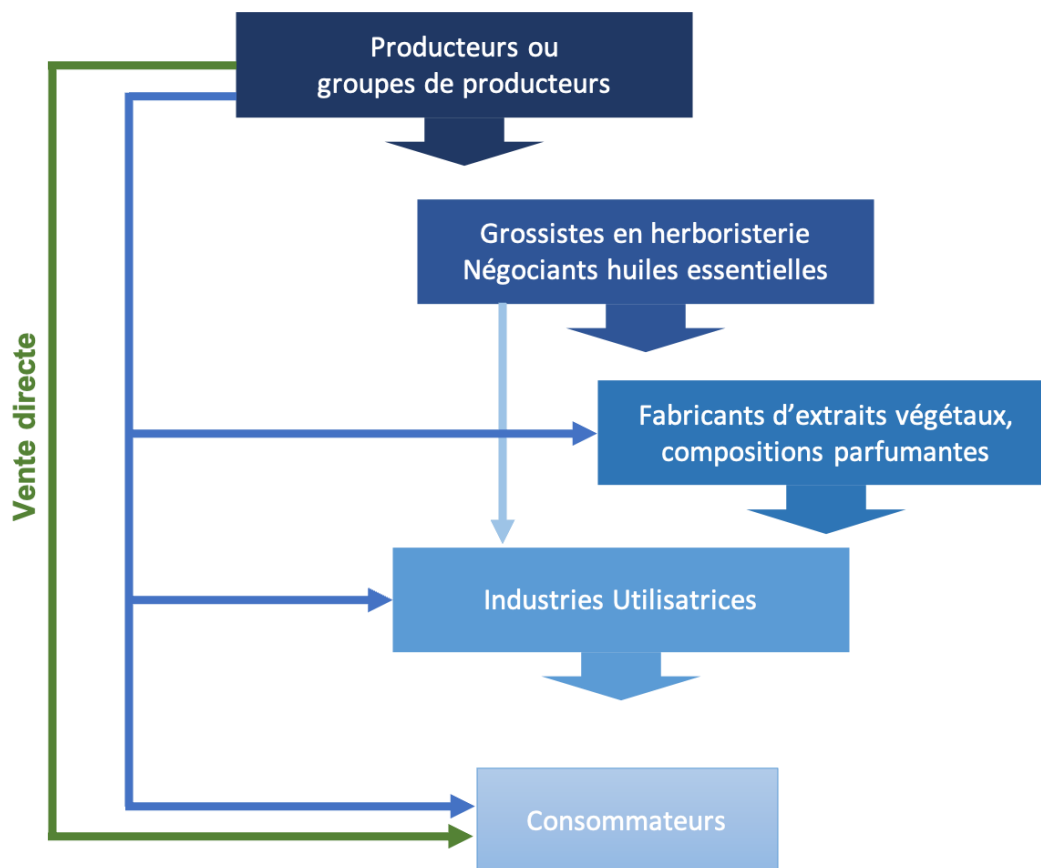


Figure 3. Filière des huiles essentielles en France [FRA 20].

2.6. Marché des huiles essentielles Bio

En 2018, on dénombrait 8747 ha de cultures selon le cahier des charges de l'agriculture biologique de plantes à parfum aromatiques et médicinales, dont 1601 ha en conversion dans 2846 exploitations. Les produits de ces cultures sont certifiés biologiques ou Bio. Ces cultures ne représentent que 17% des surfaces de cultures de plantes à parfum aromatiques et médicinales en France, ce qui ne suffit pas à satisfaire la demande du marché. De plus, les produits Bio présentent un coût généralement plus élevé que celles de qualité standard. Le Tableau 3 montre l'évolution du prix des huiles essentielles entre l'année 2007 et 2018 ainsi que la différence entre le prix des huiles essentielles standards ou Bio.

Huile essentielle	Qualité standard (€/kg)		Biologique (€/kg)	
	2007	2018	2007	2018
Cèdre (Virginie)	15.00	30.00	58.00	74.00
Citronnelle	11.00	32.00	23.00	44.00
Feuille de girofle	12.00	35.00	60.00	95.00
Eucalyptus (<i>Globulus</i>)	5.50	6.50	26.00	41.00
Lavandin	15.00	51.00	36.00	75.00
Citron	44.00	50.00	92.00	102.00
Litsée citronnée	20.00	47.00	44.00	90.00
Orange	5.50	14.00	35.00	42.00
Patchouli	115.00	72.00	250.00	150.00
Menthe poivrée	27.00	42.00	100.00	107.00

Tableau 3. Prix moyen d'huiles essentielles standards et Bio en 2007 et 2018 [CAN 20].

La filière des huiles essentielles est donc une filière dynamique et porteuse qui fait face à une demande croissante de la part des consommateurs. Cette demande croissante est associée à une volonté de consommer des produits locaux, certifiés biologiques (Bio) et de qualité. De ce fait, des entreprises se spécialisent dans le marché des huiles essentielles Bio comme par exemple Herbes et Traditions commercialisant des huiles essentielles certifiées Agriculture Biologique depuis 1998 et Cosmétique Écologique et Biologique depuis 2005 (www.herbes-et-traditions.fr).

Cependant la forte demande de produits de qualité peut entraîner une tension sur le marché avec des conséquences au niveau de la production et des questions sur la durabilité des ressources, notamment dans le cas des cueillettes.

De plus, le marché des huiles essentielles présente un fort potentiel de se positionner dans une filière écoresponsable. Cela en favorisant principalement les pratiques de l'agriculture biologique et en développant des procédés d'obtention et d'extraction des huiles essentielles plus respectueuses de l'environnement et de la planète. Cela peut aboutir à l'obtention des produits de valeurs ajoutées pouvant être incorporés dans des formulations de haute gamme notamment celles certifiées Bio et naturelles (Figure 4).

Les huiles essentielles: une filière éco-responsable

Agriculture biologique Pratiques de culture des plantes aromatiques soucieuses du respect des équilibres naturels (sans usage des produits chimiques de synthèse (engrais, désherbant, pesticides) et OGM)	Extraction moins impactante Développement de techniques non conventionnelles minimisant les coûts (durée d'extraction, énergies, quantité de solvant, émissions de CO ₂) comme par exemple l'extraction assistée par micro-ondes* et l'extraction par fluide supercritique**.
Les huiles essentielles	
Ingrédients des produits Bio et naturels Autorisées dans les produits certifiés Bio ayant des labels AB, Eurofeuille, Cosmos, 100% organic etc.	Valorisation de la biomasse végétale Utilisation de chaudières à biomasse pour l'extraction des HEs (ex. Ferrant PHE) Extraction des HEs de résidus et co-produits alimentaires (peaux, écorces, trognons, pépins, noyaux, fanes)

*Empreinte carbone: hydrodistillation (3.60 kg/kg d'HE de *Bhakhtiari savory*) vs extraction assistée par micro-ondes (0.0246 kg/kg d'HE de *Origanum vulgare L. spp. hirtum*) [KAN 22].

**Coût de production: hydrodistillation (7.05-86.40 US\$/kg) vs extraction par fluide supercritique (6.71-42.69 US\$/kg) [KAN 22].

Figure 4. Les huiles essentielles : une filière écoresponsable de la culture des plantes aromatiques jusqu'à la formulation des produits finaux.

3. Facteurs déterminants de la remontée du marché des huiles essentielles

3.1. L'engouement grandissant pour le naturel

L'opinion publique a fortement changé ces dernières années. Les consommateurs prennent de plus en plus conscience de l'importance du développement durable, souhaitent retourner au naturel et diminuer l'impact de leur consommation sur l'environnement. Les industriels se retrouvent donc dans l'obligation d'adapter leurs produits aux exigences du marché en constante évolution. Les différentes industries doivent par conséquent élargir leur offre de produits alimentaires, cosmétiques, médicaments et insecticides naturels. Dans ce contexte, les métabolites secondaires ou spécialisés de plantes, dont les huiles essentielles, constituent une source intarissable d'actifs naturels et durables.

Dans le secteur agroalimentaire, les conséquences des additifs et conservateurs alimentaires sur la santé des consommateurs sont devenus un sujet préoccupant et d'actualité. Certains additifs alimentaires sont en effet au cœur de polémiques sanitaires comme le dioxyde de titane (E171) [BOU 22]. Les additifs alimentaires sont des substances chimiques ou naturelles ajoutées aux denrées alimentaires pour préserver ou améliorer leur fraîcheur, leur goût, leur texture ou leur aspect et augmenter leur durée de conservation. Certains additifs pourraient avoir des effets néfastes sur le système immunitaire, la croissance (surtout chez les enfants) et le développement neurologique (syndromes d'hyperactivité). Ils peuvent également être associés à l'augmentation du risque d'allergies, de cancers, de maladies cardiovasculaires, de migraines et d'autres pathologies. De plus, il manque de nos jours des données sur les risques liés à l'accumulation de différents additifs au sein d'un même aliment (effet cocktail) ainsi que sur leurs effets sur la santé humaine à long terme. Ce sujet est inquiétant et alertant pour les chercheurs ainsi que pour les consommateurs. Le plus grand *challenge* de l'industrie alimentaire est alors de proposer une alimentation saine, durable et accessible à tous [ALM 22]. Ainsi les labels « Sans additifs » ou « 100 % d'ingrédients naturels » fleurissent de plus en plus sur les produits. Les huiles essentielles et les extraits de plantes, additifs alimentaires phyto-géniques, sont considérés comme une alternative de première intention aux

additifs de synthèse. Ces produits naturels contribuent à la sécurité alimentaire, notamment en raison de leurs propriétés antimicrobiennes. En effet, les huiles essentielles et leurs constituants peuvent agir contre un large spectre de microorganismes pathogènes dans les denrées alimentaires [ALM 22]. Une revue récente rassemble tous les travaux de la littérature sur l'utilisation des huiles essentielles dans la conservation et la prolongation de la durée de conservation de différentes denrées alimentaires (fruits et végétaux, produits laitiers, produits carnés, poissons et fruits de mer) [ROU 22].

Si l'on prend l'exemple des charcuteries, les extraits naturels permettent d'obtenir les mêmes avantages, mais sans les inconvénients des nitrites et des nitrates, additifs associés à des risques accrus de cancers. Cet effet est lié à leurs propriétés antimicrobiennes et antioxydantes et à leur capacité à donner la couleur rosée, caractéristique des denrées carnées [AWA 22]. Des résultats prometteurs ont été obtenus sur l'utilisation d'extraits de plantes dans la conservation d'une très grande variété de préparations alimentaires à base de viande de chèvre, mouton, bœuf, porc, cerf et volaille [AWA 22]. De nombreux travaux de la littérature ont démontré la capacité de conservation de différentes huiles essentielles grâce à leur pouvoir antioxydant comme par exemple les huiles essentielles de romarin, cumin, anis, cannelle, basilic, clou de girofle, etc.

En outre, la prise de conscience de plus en plus importante du lien entre la santé et l'alimentation et l'évolution de la définition du « bien manger », dans un contexte où les consommateurs ne demandent pas uniquement des aliments qui ne leur font pas de mal, mais également qui leur font du bien, amène l'industrie agroalimentaire à intégrer dans leurs formulations des compléments alimentaires naturels et efficaces. Cela a conduit à l'apparition de la philosophie des « nutraceutiques » en 1989 qui se concentre plutôt sur la prévention, selon le dicton du père de la médecine Hippocrate « laissez la nourriture être votre médicament ». Ce terme « nutraceutique » est un raccourci de nutrition et pharmaceutique qui fait référence à tous les ingrédients actifs présents dans les aliments et dans la nature pouvant avoir un impact positif sur l'être humain. Afin de trouver des nutraceutiques, les industriels ont eu recours aux plantes et leurs huiles essentielles, telles que le gingembre, l'ail, le ginseng, l'oignon, le curcuma. Les huiles essentielles sont également intéressantes pour leurs effets anti hyperglycémiques, régulateurs du taux de glucose, anti-inflammatoires ou immunomodulateurs [PAU 22]. Elles peuvent également aider à maigrir en accélérant l'élimination des graisses et en favorisant la sécrétion de la bile (détoxination).

Étant donné la richesse des produits végétaux en ces substances précieuses et bioactives, la recherche et l'industrie agroalimentaire visent de plus en plus à valoriser les déchets et résidus de production en tant qu'additifs alimentaires [WED 22] (Figure 5). Les huiles essentielles figurent par exemple parmi les substances intéressantes qui peuvent être obtenues à partir des déchets des agrumes pour lesquels les résidus, peau et pépins, constituent 50 à 60% de la masse totale des fruits [MAH 18]. D'autres sous-produits sont également valorisés en tant que source d'antioxydants, fibres alimentaires et minéraux comme l'écorce de pastèque [KUM 18], la coque d'arachide [LIA 21] et autres [AND 17].

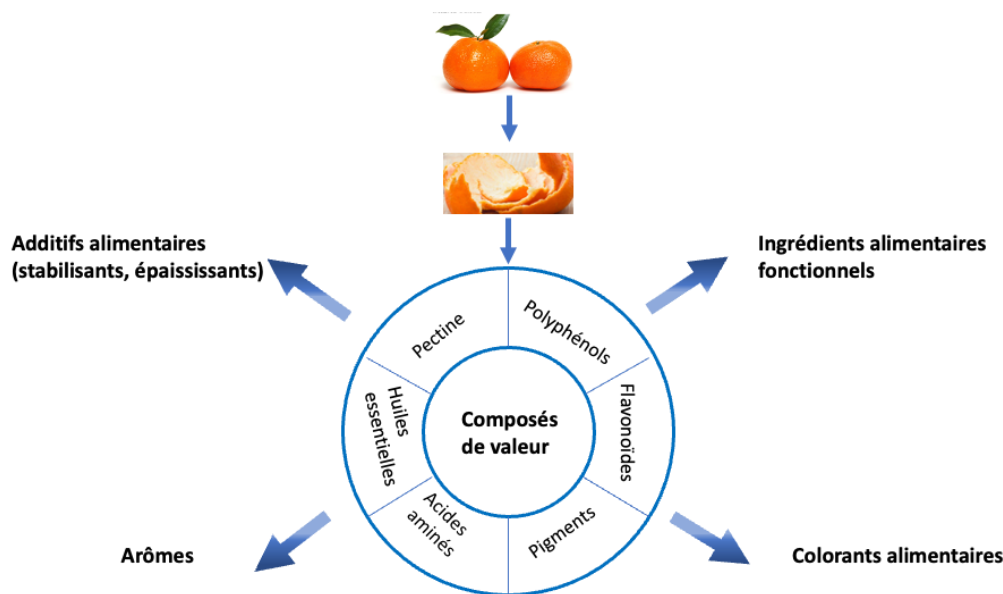


Figure 5. Les composés de valeur de la peau (zeste) des agrumes et leurs applications dans l'industrie agroalimentaire [WED 22].

Au niveau du secteur cosmétique, depuis l'antiquité, les huiles essentielles sont des ingrédients phares non pas uniquement pour la parfumerie, mais également pour tout le domaine de la beauté. De nos jours, les huiles essentielles ont retrouvé leur place parmi les ingrédients incontournables pour les produits cosmétiques, car elles permettent de proposer des formulations cosmétiques certifiées Bio, notamment suite à l'interdiction par l'Union Européenne de l'incorporation de plus de 1300 produits chimiques dans les cosmétiques², et de satisfaire la demande croissante des consommateurs pour des ingrédients naturels.

L'incorporation des huiles essentielles, en remplacement de molécules de synthèse, permet d'augmenter le pourcentage en produits naturels dans la formulation finale. En effet, un produit cosmétique ne peut être qualifié de « naturel ou Bio » que si sa teneur en ingrédients d'origine naturelle est supérieure ou égale à 95%. Selon des études, en 2026, la taille du marché mondial des cosmétiques naturels et biologiques devrait atteindre 9947,2 millions USD (9200 millions USD en 2020).

Les huiles essentielles répondent parfaitement aux exigences de la Charte Slow Cosmétique établie en 2013 qui vise une cosmétique écologique, saine, intelligente et raisonnable. Les huiles essentielles peuvent répondre à ces 4 critères en remplaçant respectivement des molécules de synthèse, en ne perturbant pas les fonctions physiologiques de l'organisme (ne présentant pas d'effets secondaires), en étant des ingrédients naturellement actifs et des alternatives bénéfiques pour le corps, la beauté et l'esprit.

Au-delà de leur intérêt organoleptique principal, parfumer les produits, les huiles essentielles sont également intégrées dans les différents produits cosmétiques en tant qu'agents actifs. Ces produits naturels peuvent apporter plusieurs fonctionnalités aux produits particulièrement sur la peau en présentant des effets purifiant, apaisant, décongestionnant, raffermissant et antioxydant. Les huiles essentielles suscitent de plus un intérêt grandissant dans les produits destinés aux soins des cheveux et au traitement des dysfonctionnements du cuir chevelu [ABE 22].

² Annex II, Regulation 1223/2009/EC on Cosmetic Products, as amended by Regulation (EU) 2022/1531, OJ L 240, 16 September 2022.

Les huiles essentielles relèvent un autre défi de la cosmétique Bio où il est strictement interdit d'utiliser les conservateurs synthétiques. L'acide benzoïque, qui est présent naturellement dans certaines huiles essentielles telles que le vétiver et le jasmin, est l'un des cinq conservateurs conventionnels autorisés dans les cosmétiques Bio. L'extrait de pépins de pamplemousse (EPP) « *Citrus grandis seed extract* » est quant à lui, un des quatre conservateurs d'origine totalement naturelle utilisée en cosmétique Bio³.

Dans le secteur pharmaceutique, la recherche s'est particulièrement intéressée à l'exportation des savoirs traditionnels de la phytothérapie, médecine dite alternative, en vue de proposer des molécules alternatives aux produits de synthèse pour faire face principalement à l'antibiorésistance (MDR Multiple Drug Resistance).

En Europe, le Centre européen de contrôle et de prévention des maladies (ECDC) évalue à 33 000 le nombre de décès résultants de bactéries résistantes aux antibiotiques. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) considère ce problème comme une urgence et une menace mondiale. La menace des superbactéries ultrarésistantes a conduit le monde à entrer dans l'ère post-antibiotique. Le 27 février 2017, l'OMS a publié une liste de bactéries contre lesquelles il était urgent de découvrir de nouveaux agents antibactériens. La plupart des efforts ont été consacrés à l'exploration des ressources naturelles. Ces dernières semblent les plus prometteuses de par leur biodiversité, efficacité et origine naturelle. Une revue récente offre une synthèse exhaustive des ingrédients actifs issus des plantes, leurs activités pharmacologiques et leurs applications dans les industries pharmaceutique et alimentaire [LIU 23]. Parmi les 302 composés actifs issus des plantes, 90 appartiennent à la classe des terpénoïdes (29.8%) et 20 à la classe des phénylpropanoïdes (6.62%), les deux principales classes de métabolites secondaires présents dans les huiles essentielles. De façon très intéressante, le spectre d'action de ces composés est très étendu, car ils agissent contre un large éventail de bactéries, y compris celles les plus résistantes. En plus de l'activité antibactérienne, ces molécules disposent d'autres propriétés intéressantes : antitumorale, anti-inflammatoire, antivirale, hypoglycémique, antioxydante, neuroprotectrice et inhibitrice d'enzyme [LIU 23]; [SOL 22]. Différentes bases de données ont été réalisées et mises à disposition afin de faciliter et d'accélérer la découverte de nouveaux médicaments issus des plantes [MED 15].

La moitié des médicaments acceptés/approuvés par la FDA sont issus de produits naturels et leurs dérivés [ANA 19]. En oncologie, parmi les 246 agents anticancéreux découverts entre 1940–2014, 60% sont issus de produits naturels ou de dérivés [NEW 16]. Le Tableau 4 montre des exemples de médicaments commercialisés et utilisés en pharmacie dérivés du règne végétal [ANA 19].

³ Pour plus d'informations, une revue récente présente une compilation des formulations cosmétiques incorporant des huiles essentielles [CUN 22].

Molécules actives	Espèces végétales
Aspirine	<i>Filipendula ulmaria (L.) Maxim</i>
Codéine	<i>Papaver somniferum L.</i>
Papavérine	<i>Papaver somniferum L.</i>
Colchicine	<i>Colchicum autumnale L.</i>
Digoxine and digitoxine	<i>Digitalis purpurea L.</i>
Cannabidiol	<i>Cannabis sativa L.</i>
Tétrahydrocannabinol	<i>Cannabis sativa L.</i>
Vinblastine and vincristine	<i>Catharanthus roseus (L.) G. Don</i>
Artémisinine	<i>Artemisia annua L.</i>
Galantamine (Reminyl®)	<i>Galanthus woronowii Losinsk.</i>
Chlorhydrate d'apomorphine (Apokyn®)	<i>Papaver somniferum L.</i>
Bromure de tiotropium (Spiriva®)	<i>Atropa belladonna L.</i>
Paclitaxel (Taxol®)	<i>Taxus brevifolia Nutt.</i>
Vinblastine and vincristine	<i>Catharanthus roseus (L.) G. Don</i>
Paclitaxel	<i>Taxus brevifolia Nutt. & Taxus chinensis (Pilg.) Rehder</i>
Camptothécine	<i>Camptotheca acuminata Decne.</i>
Allicine (diallylthiosulfonate)	<i>Allium sativum L.</i>

Tableau 4. Exemples de médicaments dérivés de plantes médicinales⁴ [ANA 19].

De plus, les recherches ont montré une synergie surprenante entre les antibiotiques conventionnels et les huiles essentielles. Une revue récente offre une synthèse des travaux de la littérature étudiant les effets synergiques des combinaisons huiles essentielles/antibiotiques envers un très large spectre de bactéries [BUN 22]. Les résultats prometteurs sur les produits naturels dans le domaine médical et pharmaceutique laissent croire à la parole « Il y a une herbe pour chaque maladie ».

L'aromathérapie, est une approche thérapeutique naturelle qui place les huiles essentielles des plantes au cœur de son principe [ERN 00]; [HOF 02]. Dans notre société moderne, de nouvelles tendances vers un retour à la pratique de l'aromathérapie, la médecine douce naturelle, réapparaissent. Cette tendance a en outre bondi pendant la pandémie de COVID-19. Le public semblait être intéressé par l'utilisation de ces produits naturels pour renforcer leurs défenses immunitaires, les aider à gérer leur stress ou encore pour purifier et désinfecter l'air. De nos jours, les huiles essentielles sont utilisées en aromathérapie selon trois usages distincts : à appliquer sur la peau, à ingérer ou simplement à sentir. L'inhalation des huiles essentielles semble être une voie d'exposition très intéressante. Les huiles essentielles s'avèrent intéressantes et réputées pour traiter de multiples troubles psychiques, apaiser le système nerveux et soulager le stress ou l'anxiété. En effet, les constituants volatils des huiles essentielles peuvent atteindre les récepteurs olfactifs dans le système nerveux central, et apporter plusieurs informations au cerveau. Les huiles essentielles, comme la lavande et son composant majeur, le linalol, semblent être intéressantes pour réguler

⁴ Certains, bien que d'origine naturelle, ont été modifiés par des voies d'hémisynthèse afin d'obtenir des molécules plus actives ayant le moins d'effets secondaires.

différents troubles cognitifs [MAL 22]. Inhaler des huiles essentielles peut, par exemple, faire oublier au cerveau le sentiment de faim. Cependant, il convient d'être attentif au mode d'emploi des huiles essentielles et de demander conseil aux spécialistes. En effet, ces dernières sont très concentrées en composés actifs et peuvent présenter certains dangers. De plus, les huiles essentielles sont déconseillées aux populations fragiles et à risque, en particulier les enfants, les femmes enceintes et allaitantes et les personnes allergiques.

Les huiles essentielles sont spécialement conçues pour être utilisées dans les spas, en diffusion, bain aromatique et en application cutanée et massage, dans le but d'atteindre un bien-être physique et mental complet. En France, on estime à 14 millions le nombre de flacons d'huiles essentielles pures vendues au détail au cours de l'année 2016 (PPAM de France et Consortium HE, 2021), les plus vendues étant l'arbre à thé, le Ravintsara, la lavande, la menthe poivrée et la Gaulthérie [FRA 20].

Dans les produits phytosanitaires, Depuis les années 1930, un grand nombre de pesticides de synthèse ont été développés et extensivement utilisés. Cela a conduit à l'apparition des phénomènes de résistance depuis le milieu du XX^e siècle [MOS 22]. Le nombre d'insectes recensés comme devenus résistants a augmenté de 14 en 1948 à 500 en 1990. De plus, les produits phytosanitaires présentent un impact majeur sur l'environnement et la santé publique [PER 21] et un danger sérieux pour les écosystèmes et la biodiversité [BAR 21]. Leur utilisation a été accompagnée par un déclin des populations de prédateurs au sommet de la chaîne alimentaire, comme par exemple les rapaces, ainsi que par la disparition de certaines espèces d'oiseaux et du déclin des abeilles [TAN 22]. En 1962, apparaît la première alerte aux États-Unis suite à la publication de l'ouvrage « Le printemps silencieux » de Rachel Carson dénonçant les dommages irréversibles que la pollution par les produits chimiques fait payer aux écosystèmes naturels. Les premières interdictions de pesticides organochlorés sont prononcées au cours des années soixante-dix. Diverses dispositions législatives récentes visent à limiter l'usage des pesticides. Initié en 2008, le premier Plan Ecophyto a été suivi par deux versions, dont la dernière date de 2019 (Ecophyto2+), avec un objectif réaffirmé de réduction de 50 % du recours de ces produits en France d'ici 2025. Suite à ce plan, de nombreuses substances chimiques ont été réévaluées et retirées du marché (38 entre 2018 et 2019). De plus, la loi du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte, a interdit la vente, l'usage et le stockage des produits phytosanitaires de synthèse pour les particuliers à partir du 1^{er} janvier 2019. Les 27 ministres européens de l'Environnement réunis à Amiens du 20 au 22 janvier 2022 ont réaffirmé la volonté de l'Union Européenne de réduire son recours aux produits phytosanitaires de moitié d'ici à 2030.

Par conséquent de nouvelles stratégies de défense de culture apparaissent : lutte raisonnée, protection intégrée, agents de biocontrôle et produits naturels. Dans ce contexte, l'emploi de biopesticides (organismes vivants, plantes, bactéries, champignons, insectes, algues, ou de produits issus de ces organismes et ayant la particularité de supprimer ou de limiter les ennemis des cultures) suscite un intérêt croissant [ASI 22]; [IVE 22].

Les métabolites spécialisés que les espèces végétales ont développés pendant 400 millions d'années d'évolution pour s'armer contre les parasites et prédateurs suscitent ainsi un grand intérêt en vue d'une transition écologique et durable. Pour ces raisons, ils ont été largement testés ces dernières années comme alternatives aux insecticides chimiques, avec des résultats prometteurs [PAV 16]. L'huile essentielle d'orange, est par exemple autorisée en France en tant qu'insecticide et acaricide (acariens), l'huile essentielle de clou de girofle est active contre le champignon *Glomerella cingulata* responsable de la pourriture du raisin mûr [SIL 19] et l'huile essentielle de poivrier à épis crochu, efficace dans le traitement et la prévention des maladies dans les fermes piscicoles [MIU 21].

L'utilisation de ces alternatives naturelles aux pesticides de synthèse présenterait plusieurs avantages [PIN 19]. Les biopesticides sont moins toxiques pour les agriculteurs lors de leur manipulation et moins nocifs pour l'environnement. De plus, étant donné qu'ils sont basés sur un mélange complexe de principes actifs, ils devraient limiter le développement de la résistance des organismes cibles.

Néanmoins, même si la nature regorge de molécules bioactives, leur obtention par extraction ne peut à elle seule satisfaire l'ensemble des demandes à l'échelle de la planète. Des molécules « identiques naturelles » peuvent alors être obtenues par synthèse chimique (hémisynthèse et/ou synthèse totale). Les molécules obtenues par synthèse, chimiquement identiques aux molécules naturelles, présentent par conséquent les mêmes propriétés. Ainsi, les molécules obtenues par extraction ou par synthèse possèdent une toxicité équivalente, celle-ci ne dépendant pas de l'origine de la molécule, mais uniquement de sa structure chimique. Les molécules peuvent être synthétisées à partir de précurseurs fossiles ou issus de la nature, on parle alors d'hémisynthèse. C'est le cas de la vanilline qui peut être synthétisée à partir de l'eugénol, composant majeur de l'huile essentielle de clou de girofle. L'hémisynthèse reflète ainsi la magie que peut créer l'alliance entre nature et synthèse. De plus, la synthèse chimique est moins onéreuse et peut permettre de préserver les ressources naturelles, surtout les plus rares et les plus fragiles. Il convient également de ne pas oublier que la synthèse chimique permet de créer régulièrement de nouvelles molécules, permettant ainsi aux parfumeurs et aromatisateurs de se renouveler avec des senteurs nouvelles. Une réflexion favorisant uniquement le naturel pourrait donc s'avérer contre-productive à long terme.

3.2. Le caractère durable

Les huiles essentielles sont des composés à haute valeur ajoutée en raison de la grande variété des activités biologiques intéressantes qu'elles peuvent exercer. Cela induit une augmentation considérable de l'investissement dans la culture des plantes, l'extraction des huiles essentielles, l'analyse physicochimique (composition de l'huile essentielle) et l'identification des composés actifs qu'elles contiennent. D'origine naturelle, les huiles essentielles constituent, en effet, une source renouvelable et durable de composés bioactifs intéressants [KAP 22]. Cependant, l'utilisation de pesticides pour les cultures de PPAM, pratique toujours en cours, peut mettre en cause la durabilité de la filière. De plus, une huile essentielle peut être extraite à partir de différentes espèces végétales. Cela permet par conséquent d'obtenir une huile essentielle ou un composé d'intérêt, constituant d'huile essentielle à partir de plantes cultivées dans des régions géographiques différentes et d'assurer la pérennité de la ressource malgré les variations saisonnières et climatiques. Les plantes aromatiques, sources d'huiles essentielles, peuvent être issues des cueillettes sauvages. Toutefois, si celles-ci sont effectuées, les cueillettes doivent se faire de manière raisonnée et respectueuse afin de ne pas menacer d'extinction les plantes sauvages soulevant ainsi la question de durabilité de ces sites. Des approches innovantes de *phytomanagement* visent à valoriser des sols pollués en éléments traces, où la pratique des cultures vivrières est impossible, vers la culture de plantes aromatiques pour la production des huiles essentielles non alimentaires [RAV 21]. Aucune différence significative dans la composition des HEs cultivées sur des sols pollués ou non pollués n'a été observée [RAV 21]. De plus, les éléments traces présents dans les sols n'ont pas été retrouvés dans les huiles essentielles.

4. Facteurs restrictifs à l'utilisation des huiles essentielles

4.1. Le prix des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont des substances nobles très concentrées. Le prix relativement élevé d'une huile essentielle est directement lié à la quantité de plantes nécessaire à son extraction. Il faut par exemple environ 4-7 tonnes de fleurs de Rose de Damas ou 115 à 200 kilos de fleurs de lavande pour obtenir 1 kilo d'huile essentielle. Les prix peuvent s'envoler davantage si les huiles essentielles

sont issues de l'Agriculture Biologique (Tableau 3) où des contrôles plus stricts sont nécessaires. De plus, cela nécessite des cultures sauvages éloignées des zones polluées ou des cultures traditionnelles contrôlées dans des zones rurales non polluées.

En outre, selon l'écosystème (saison, climat, ensoleillement, nature du sol, altitude, etc.) une même plante peut élaborer des huiles essentielles de composition très différente. La variation biochimique de la composition de l'huile essentielle secrétée va non seulement affecter ses propriétés organoleptiques, mais également ses indices thérapeutiques et toxiques. Toutefois, afin de pouvoir profiter pleinement des vertus des huiles essentielles, il s'avère nécessaire d'utiliser les huiles essentielles 100% pures et naturelles et ayant obtenu le label HECT (huiles essentielles chémotypées) ou HEBBD (Huile Essentielle Botaniquement et Biochimiquement Définie). En effet, le chémotype, adopté et officialisé selon la norme européenne par la ratification du règlement REACH⁵ en 2006 [BAR 18] constitue la carte d'identité d'une huile essentielle. Il désigne la ou les molécules majeures de l'huile essentielle (exemple de chémotype : le *thymus vulgaris* à thymol ou le *thymus vulgaris* à linalol signifiant que la molécule principale de chacune de ces huiles essentielles est le thymol ou le linalol, respectivement). Afin de répondre aux critères de qualité d'une huile essentielle chémotypée, il faut contrôler le choix de l'espèce végétale, vérifier la qualité des méthodes d'extraction utilisées, contrôler l'identité et de la composition de l'huile essentielle par analyse physicochimique et garantir une huile essentielle 100% pure et naturelle.

4.2. Les huiles essentielles contiennent des substances allergènes

L'annexe III du règlement n°1223/2009 du parlement Européen relatif aux produits cosmétiques liste 26 composants d'huiles essentielles comme allergènes réglementés. Ces substances sont soumises à une obligation d'étiquetage afin d'assurer l'information au consommateur de leur présence. De plus, leur concentration maximale est strictement plafonnée à 0,001% dans un produit sans rinçage (parfums, crèmes, huiles) et à 0,01% dans un produit rincé (shampooing, gel douche) [SUR 07]. Seul le lilial est classifié comme CMR (cancérogène, mutagène ou toxique pour la reproduction) et est interdit en cosmétique depuis le 1^{er} mars 2022 suite à l'entrée en vigueur du règlement Omnibus IV (règlement (UE) n°2021/1902). L'apparition du linalol sur cette liste a créé une inquiétude sur l'avenir de la filière lavandicole. En effet, les lavandiculteurs ont considéré que l'huile essentielle de lavande, ayant comme principal constituant le linalol, pourrait être concernée et que même un projet en cours serait suffisant pour décourager les clients actuels et futurs. Cependant, ces soucis sont infondés, car les règlements REACH et CLP⁶ considèrent les huiles essentielles, telle que l'huile essentielle de lavande, comme substances complexes, chimiques et réglementées en tant que telles. De plus, les nouvelles réglementations n'ont aucune intention de modifier cette définition ni d'exiger une analyse de chaque molécule présente dans les huiles essentielles.

Non seulement les huiles essentielles utilisées dans les produits cosmétiques présentent des risques sur la santé publique, mais ces risques sont d'autant plus prégnants lorsqu'elles sont employées dans des applications alimentaires. Une étude récente regroupe les informations relatives aux risques liés à l'utilisation de certaines huiles essentielles dans l'industrie alimentaire et les effets

⁵ REACH est l'acronyme du titre anglais du règlement européen "Registration, Evaluation, Authorisation and restriction of Chemicals" entré en vigueur en 2007. Le but de ce règlement est de préserver la santé humaine et l'environnement contre les produits chimiques en sécurisant leur fabrication et utilisation dans l'industrie européenne. Il vise alors à recenser et encadrer l'enregistrement, l'évaluation, l'autorisation ainsi que les restrictions d'utilisation des substances chimiques fabriquées, importées ou mises sur le marché (<https://www.ecologie.gouv.fr/reglementation-reach>).

⁶ CLP est l'acronyme du titre anglais du règlement européen « Classification, Labelling, Packaging » entré en vigueur en 2009. Il définit alors les règles européennes de classification, d'étiquetage et d'emballage des produits chimiques et mélanges. Le but est de communiquer sur les dangers de toutes les substances chimiques et de tous les mélanges dangereux au niveau européen afin d'informer les consommateurs et les travailleurs et de protéger la santé humaine et l'environnement (<https://www.ecologie.gouv.fr/produits-chimiques-classification-etiquette-et-emballage>).

possibles de certains de leurs constituants, notamment la présence d'allergènes et de résidus de pesticides dans certaines huiles essentielles utilisées [TUR 21].

De plus, les huiles essentielles sont des mélanges de molécules susceptibles de se dégrader dans certaines conditions (présence d'oxygène, humidité, température, etc.). En cas de mauvaise conservation, une huile essentielle peut par conséquent s'altérer et devenir toxique ou allergisante.

5. Encapsulation des huiles essentielles

Certaines stratégies peuvent permettre de réduire les effets indésirables liés à l'utilisation des huiles essentielles (irritations), de les préserver contre les agressions extérieures (perte par volatilisation, dégradation) et d'améliorer leurs fonctionnalités (solubilité). L'encapsulation consiste à enfermer ces substances précieuses dans une capsule, composée d'un cœur contenant les huiles essentielles, recouvert d'une couche (ou membrane), servant de protection. Il existe un large éventail d'approches d'encapsulation telles que l'encapsulation moléculaire par les cyclodextrines (CDs), les liposomes, les émulsions, les micelles, les nanocapsules polymériques, les nanoparticules ou nanocapsules lipidiques ainsi que des systèmes mixtes.

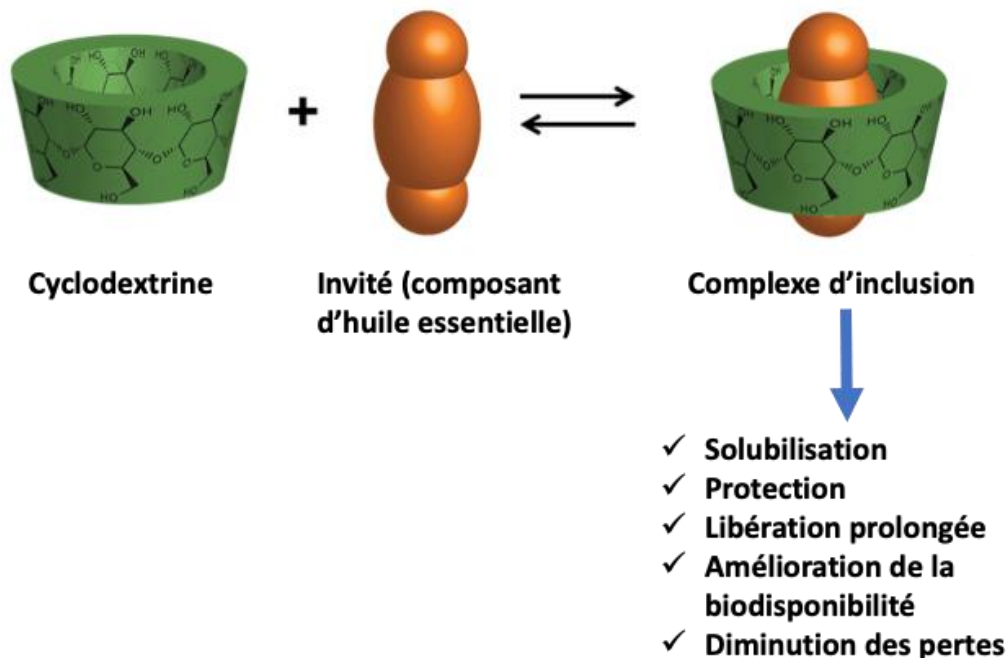


Figure 6. Encapsulation moléculaire dans les cyclodextrines et effets bénéfiques de la formation des complexes d'inclusions sur les propriétés des huiles essentielles.

L'encapsulation dans les cyclodextrines consiste à préparer des complexes d'inclusion en solution ou sous forme solide. Cette encapsulation permet d'améliorer les propriétés et les fonctionnalités des huiles essentielles (Figure 6). L'utilisation des cyclodextrines présente plusieurs avantages. En effet, les cyclodextrines sont des molécules naturelles obtenues par dégradation enzymatique de l'amidon. Ces oligosaccharides cycliques se présentent sous une forme conique tronquée dont les dimensions varient selon le nombre d'unités de glucose. Les plus abondantes sont celles à 6, 7 et 8 unités de glucose appelées respectivement α -CD, β -CD et γ -CD. Les α -CD, β -CD et γ -CD sont reconnues comme GRAS (*Generally Recognized As Safe*) par les États-Unis et comme additifs alimentaires par l'Union Européenne (E457, E459 et E458 respectivement). La β -CD (N° CAS : 7585-39-9 / 12619-70-4) est autorisée en industrie cosmétique et est étiquetée sous le terme « CYCLODEXTRIN ». D'autres dérivés de cyclodextrines sont également utilisés dans la formulation des produits

cosmétiques (hydroxypropyl- β -cyclodextrine, méthyl- β -cyclodextrine, maltosyl- β -cyclodextrine, dimaltosyl- β -cyclodextrine) selon La liste INCI (*International Nomenclature of Cosmetic Ingredients*). Les cyclodextrines sont également largement employées dans le secteur pharmaceutique. Elles sont généralement utilisées comme adjuvants, mais ont récemment montré des activités intrinsèques intéressantes [AGN 22]. Des exemples d'utilisation des cyclodextrines dans des formulations pharmaceutiques commercialisées sont listés dans plusieurs revues [AGN 22]; [JAM 16]. Les lecteurs intéressés par les cyclodextrines et leur utilisation pour l'encapsulation des huiles essentielles sont invités à consulter les revues suivantes [CRI 14]; [KFO 19]; [MOR 21].

6. Conclusion

La demande croissante de produits naturels et la volonté de privilégier la durabilité et l'écoresponsabilité des consommateurs et industriels contribuent à l'accroissement de la filière des huiles essentielles. Cette filière à haut potentiel peut constituer un socle économique des territoires et des régions avec l'intégration verticale de différents maillons (agriculteurs, distillateurs, négociateurs, industries). Le marché des huiles essentielles est un marché florissant qui prend une part importante dans le dynamisme économique mondial avec notamment une présence significative de la production française. Ces produits de valeurs sont des ingrédients phares dans les produits alimentaires, cosmétiques, pharmaceutiques et les détergents. Cependant, ce secteur doit faire face à des limites intrinsèques. En effet, la production d'huiles essentielles est très dépendante des phénomènes climatiques (une baisse de production peut survenir suite aux sécheresses, gels, etc.) et de maladies qui peuvent attaquer les plantes. De plus, la signature olfactive est difficile à maîtriser. À cela peuvent s'ajouter des freins extrinsèques, notamment l'accumulation des réglementations.

Bibliographie

- [ABE 22] ABELAN U. S., DE OLIVEIRA A. C., CACOCI É. S. P., MARTINS T. E. A., GIACON V. M., VELASCO M. V. R., LIMA C. R. R. DE C., «Potential use of essential oils in cosmetic and dermatological hair products: A review», *Journal of Cosmetic Dermatology*, Volume 21, n° 4, p. 1407-1418, 2022.
- [AGN 22] AGNES M., PANCANI E., MALANGA M., FENYVESI E., MANET I., «Implementation of Water-Soluble Cyclodextrin-Based Polymers in Biomedical Applications: How Far Are We?», *Macromolecular Bioscience*, Volume 22, n° 8, 22000902200090, 2022.
- [ALM 22] AL-MAQTARI Q. A., REHMAN A., MAHDI A. A., AL-ANSI W., WEI M., YANYU Z., PHYO H. M., GALEBOE O., YAO W., «Application of essential oils as preservatives in food systems: challenges and future perspectives – a review», *Phytochemistry Reviews*, Volume 21, n° 4, p. 1209-1246, 2022.
- [ANA 19] ANAND U., JACOBO-HERRERA N., ALTEMIMI A., LAKHSSASSI N., «A comprehensive review on medicinal plants as antimicrobial therapeutics: Potential avenues of biocompatible drug discovery», *Metabolites*, Volume 9, n° 11, 258, 2019.
- [AND 17] ANDRÉS A. I., PETRÓN M. J., ADÁMEZ J. D., LÓPEZ M., TIMÓN M. L., «Food by-products as potential antioxidant and antimicrobial additives in chill stored raw lamb patties», *Meat Science*, Volume 129, p. 62-70, 2017.
- [ASI 22] ASIMAKIS E., SHEHATA A. A., EISENREICH W., ACHEUK F., LASRAM S., BASIOUNI S., EMEKCI M., NTOUGIA S., TANER G., MAY-SIMERA H., YILMAZ M., TSIAMIS G., «Algae and Their Metabolites as Potential Bio-Pesticides», *Microorganisms*, Volume 10, n° 2, 307, 2022.
- [AWA 22] AWAD A. M., KUMAR P., ISMAIL-FITRY M. R., JUSOH S., AB AZIZ M. F., SAZILI, A. Q., «Overview of plant extracts as natural preservatives in meat», *Journal of Food Processing and Preservation*, Volume 46, n° 8, 2022.
- [BAR 18] BARBIERI C., BORSOTTO P., «Essential Oils: Market and Legislation», dans H EL-SHEMY, *Potential of Essential Oils*, Intechopen, 2018.
- [BAR 21] BARROS-RODRÍGUEZ A., RANGSEEKAEW P., LASUDEE K., PATHOM-AREE W., MANZANERA M., «Impacts of agriculture on the environment and soil microbial biodiversity», *Plants*, Volume 10, n°11, 2325, 2021.
- [BOU 22] BOUTILLIER S., FOURMENTIN S., LAPERCHE B., «History of titanium dioxide regulation as a food additive: a review», *Environmental Chemistry Letters*, Volume 20, n°2, p. 1017-1033, 2022.

- [BUN 22] BUNSE M., DANIELS R., GRÜNDEMANN C., HEILMANN J., KAMMERER D. R., KEUSGEN M., LINDEQUIST U., MELZIG M. F., MORLOCK G. E., SCHULZ H., SCHWEIGGERT R., SIMON M., STINTZING F. C., WINK M., «Essential Oils as Multicomponent Mixtures and Their Potential for Human Health and Well-Being», *Frontiers in Pharmacology*, Volume 13, 956541, 2022.
- [BUR 19] BURGER P., PLAINFOSSÉ H., BROCHET X., CHEMAT F., FERNANDEZ X., «Extraction of Natural Fragrance Ingredients: History Overview and Future Trends», *Chemistry and Biodiversity*, Volume 16, n°10, 1900424, 2019.
- [CAN 20] CAN BASER K HUSNU., BUCHBAUER GERHARD., *Handbook of Essential Oils: Science, Technology, and Applications – 3ème Edition*, 2020.
- [CHE 15] CHEMAT F., FABIANO-TIXIER A. S., VIAN M. A., ALLAF T., VOROBIEV E., «Solvent-free extraction of food and natural products», *Trends in Analytical Chemistry*, Volume 71, p. 157-168, 2015.
- [CRI 14] CRINI G., «Review: A history of cyclodextrins», *Chemical Reviews*, Volume 114, n°21, p. 10940-10975, 2014.
- [CUN 22] CUNHA C., RIBEIRO H. M., RODRIGUES M., ARAUJO A. R. T. S., «Essential oils used in dermocosmetics: Review about its biological activities», *Journal of Cosmetic Dermatology*, Volume 21, n°2, p. 513-529, 2022.
- [ERN 00] ERNST E., «The role of complementary and alternative medicine», *British Medical Journal*, Volume 321, n° 7269, p. 1133-1135, 2000.
- [FER 22] FERRAZ C. A., PASTORINHO M. R., PALMEIRA-DE-OLIVEIRA A., SOUSA A. C. A., «Ecotoxicity of plant extracts and essential oils: A review», *Environmental Pollution*, Volume 292, 118319, 2022.
- [FRA 20] FRANCEAGRIMER. «Production et marchés des huiles essentielles», *Aromadays*, 3^{ème} Edition, 3-4 décembre 2020.
- [HOF 02] HOFFMANN F., MANNING MARTIN J. *Herbal Medicine and Botanical Medical Fads*, Routledge Taylor and Francis group, 2002.
- [IVE 22] IVES A. M., BRENN-WHITE M., BUCKLEY J. Y., KENDALL C. J., WILTON S., DEEM S. L., «A Global Review of Causes of Morbidity and Mortality in Free-Living Vultures», *EcoHealth*, Volume 19, n°1, p. 40-54, 2022.
- [JAM 16] JAMBHEKAR S. S., BREEN P., «Cyclodextrins in pharmaceutical formulations I: Structure and physicochemical properties, formation of complexes, and types of complex», *Drug Discovery Today*, Volume 21, n°2, p. 356-362, 2016.
- [KAN 22] KANT R., KUMAR A., «Review on essential oil extraction from aromatic and medicinal plants: Techniques, performance and economic analysis», *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, Volume 30, 100829, 2022.
- [KAP 22] KAPADIA P., NEWELL A. S., CUNNINGHAM J., ROBERT M. R., HARDY J. G., «Extraction of High-Value Chemicals from Plants for Technical and Medical Applications», *International Journal of Molecular Sciences*, Volume 23, n°18, 10334, 2022.
- [KFO 19] KFOURY M., AUEZOVA L., GREIGE-GERGES H., FOURMENTIN, S., «Encapsulation in cyclodextrins to widen the applications of essential oils», *Environmental Chemistry Letters*, Volume 17, n°1 p. 129-143, 2019.
- [KUM 18] KUMAR P., MEHTA N., MALAV O. P., KUMAR CHATLI M., RATHOUR M., KUMAR VERMA A., «Antioxidant and antimicrobial efficacy of watermelon rind extract (WMRE) in aerobically packaged pork patties stored under refrigeration temperature (4±1°C)», *Journal of Food Processing and Preservation*, Volume 42, n°10, 13757, 2018.
- [LIA 21] LIAO J., GUO Z., YU G., «Process intensification and kinetic studies of ultrasound-assisted extraction of flavonoids from peanut shells», *Ultrasonics Sonochemistry*, Volume 76, 105661, 2021.
- [LIU 23] LIU X., WANG S., CUI L., ZHOU H., LIU Y., MENG L., CHEN S., XI X., ZHANG Y., KANG W., «Flowers: precious food and medicine resources», *Food Science and Human Wellness*, Volume 12, n°4, p. 1020-1052, 2023.
- [MAH 18] MAHATO N., SHARM K., SINHA, M., CHO M. H., «Citrus waste derived nutra-/pharmaceuticals for health benefits: Current trends and future perspectives», *Journal of Functional Foods*, Volume 40, p. 307-316, 2018.
- [MAL 22] MALLOGGI E., MENICUCCI D., CESARI V., FRUMENTO S., GEMIGNANI A., BERTOLI A., «Lavender aromatherapy: A systematic review from essential oil quality and administration methods to cognitive enhancing effects», *Applied Psychology: Health and Well-Being*, Volume 14, n°2, p. 663-690, 2022.
- [MED 15] MEDINA-FRANCO, J. L., «Discovery and Development of Lead Compounds from Natural Sources Using Computational Approaches», *Evidence-Based Validation of Herbal Medicine*, p. 455–475, 2015.

- [MIU 21] MIURA P. T., QUEIROZ S. C. N., JONSSON C. M., CHAGAS E. C., CHAVES F. C. M., REYES F. G., «Study of the chemical composition and ecotoxicological evaluation of essential oils in *Daphnia magna* with potential use in aquaculture», *Aquaculture Research*, Volume 52, n°7, p. 3415-3424, 2021.
- [MOR 21] MORIN-CRINI N., FOURMENTIN S., FENYVES É., LICHTFOUSE E., TORRI G., FOURMENTIN M., CRINI G., «130 years of cyclodextrin discovery for health, food, agriculture, and the industry: a review», *Environmental Chemistry Letters*, Volume 19, p. 2581–2617, 2021.
- [MOS 22] MOSTAFIZ M. M., HASSAN E., LEE K. Y., «Methyl Benzoate as a Promising, Environmentally Safe Insecticide: Current Status and Future Perspectives», *Agriculture*, Volume 12, n°3, 378, 2022.
- [NEW 16] NEWMAN D. J., CRAGG G. M., «Natural Products as Sources of New Drugs from 1981 to 2014», *Journal of Natural Products*, Volume 79, n°3, p. 629-661, 2016.
- [PAU 22] PAULINO B. N., SILVA G. N. S., ARAÚJO F. F., NÉRI-NUMA I. A., PASTORE G. M., BICAS J. L., MOLINA G., «Beyond natural aromas: The bioactive and technological potential of monoterpenes», *Trends in Food Science and Technology*, Volume 128, p. 188-201, 2022.
- [PAV 16] PAVELA R., BENELLI G., «Essential Oils as Ecofriendly Biopesticides? Challenges and Constraints», *Trends in Plant Science*, Volume 21, n°12, p. 1000-1007, 2016.
- [PER 21] PEREIRA P. C. G., PARENTE C. E. T., CARVALHO G. O., TORRES J. P. M., MEIRE R. O., DORNELES P. R., MALM O., «A review on pesticides in flower production: A push to reduce human exposure and environmental contamination», *Environmental Pollution*, Volume 289, 117817, 2021.
- [PIN 19] PINO-OTÍN M. R., BALLESTERO D., NAVARRO E., GONZÁLEZ-COLOMA A., VAL J., MAINAR A. M. «Ecotoxicity of a novel biopesticide from *Artemisia absinthium* on non-target aquatic organisms», *Chemosphere*, Volume 216, p. 131-146, 2019.
- [RAV 21] RAVEAU R., FONTAINE J., VERDIN A., MISTRULLI L., LARUELLE F., FOURMENTIN S., SAHRAOUI A. L. H., «Chemical composition, antioxidant and anti-inflammatory activities of clary sage and coriander essential oils produced on polluted and amended soils-phytomanagement approach», *Molecules*, Volume 26, n°17, 5321, 2021.
- [ROU 22] ROUT S., TAMBE S., DESHMUKH R. K., MALI S., CRUZ J., SRIVASTAV P. P., AMIN P. D., GAIKWAD K. K., ANDRADE E. H. DE A., OLIVEIRA M. S. DE., «Recent trends in the application of essential oils: The next generation of food preservation and food packaging», *Trends in Food Science & Technology*, Volume 129, p. 421-439, 2022.
- [SIL 19] DA SILVA GÜNDEL S., DOS REIS T., COPETTI P., FAVARIN F., SAGRILLO M., DA SILVA A., SEGAT J., BARETTA D., OURIQUE A., «Evaluation of cytotoxicity, genotoxicity and ecotoxicity of nanoemulsions containing Mancozeb and Eugenol», *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Volume 169, p. 207-215, 2019.
- [SOL 22] SOLEIMANI M., ARZANI A., ARZANI V., ROBERTS T. H., «Phenolic compounds and antimicrobial properties of mint and thyme», *Journal of Herbal Medicine*, Volume 36, 100604, 2022.
- [SUR 07] SURPATEANU G. G., DECOCK G., FOURMENTIN S., LANDY D., DRON P. I., SURPATEANU G., SURPATEANU G. G., DECOCK G., FOURMENTIN S., LANDY D., DRON P. I., SURPATEANU G., «Molecular Design Theoretical Study on the Inclusion of Allergens with Partially Methylated Crystallized-Cyclodextrin and Hydroxypropyl-Cyclodextrin BioChem Press Theoretical Study on the Inclusion of Allergens with Partially Methylated Crystallized-Cyclodextrin and Hydroxypropyl-Cyclodextrin», *Journal of Molecular Design*, Volume 6, n°4, p. 96-105, 2007.
- [TAN 22] TAN S., LI G., LIU Z., WANG H., GUO X., XU B., «Effects of glyphosate exposure on honeybees», *Environmental Toxicology and Pharmacology*, Volume 90, 103792, 2022.
- [TUR 21] TÜRKMEÑOĞLU A., ÖZMEN D., «Allergenic components, biocides, and analysis techniques of some essential oils used in food products», *Journal of Food Science*, Volume 86, n°6, p. 2225-2241, 2021.
- [WED 22] WEDAMULLA N. E., FAN M., CHOI Y. J., KIM E. K., «Citrus peel as a renewable bioresource: Transforming waste to food additives», *Journal of Functional Foods*, Volume 95, 105163, 2022.