



HAL
open science

Étude ethnobotanique de *Camelina sativa* (L.) Crantz

Sonia Lepeltier

► **To cite this version:**

Sonia Lepeltier. Étude ethnobotanique de *Camelina sativa* (L.) Crantz. Sciences pharmaceutiques. 2021. dumas-03436463

HAL Id: dumas-03436463

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03436463>

Submitted on 19 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THESE

Pour obtenir le diplôme d'état de Docteur en Pharmacie

Préparée au sein de l'Université de Caen Normandie

Etude ethnobotanique de *Camelina sativa* (L.) Crantz

Présentée par

Sonia LEPELTIER

Soutenu publiquement le 20 janvier 2021

devant le jury composé de

Monsieur David GARON	Docteur en pharmacie, Professeur des Universités, Botanique Mycologie et Biotechnologiques, UFR Santé Caen	Président du jury
Madame Catherine LAPORTE-WOJCIK	Docteur en pharmacie, Maître de Conférences des Universités, Chimie Bio inorganique, UFR Santé Caen	Examinatrice
Madame Mirkovic Valérie	Docteur en pharmacie, Saint martin de Fontenay	Examinatrice
Monsieur Jean-Philippe RIOULT	Docteur en pharmacie, Maître de Conférences des Universités, Botanique Mycologie et Biotechnologiques, UFR Santé Caen	Examineur
Monsieur Jérôme QUINTIN	Docteur en pharmacie, Maître de Conférences des Universités, Pharmacognosie, UFR Santé Caen	Examineur

Thèse dirigée par Catherine LAPORTE-WOJCIK

LISTE DES ENSEIGNANTS – CHERCHEURS

Directeur de la Faculté des Sciences Pharmaceutiques

Professeur Michel BOULOUARD

Assesseurs

Pédagogique : Professeur Pascale SCHUMANN-BARD

Recherche : Professeur Anne-Sophie VOISIN-CHIRET

Directrice administrative et Directrice administrative adjointe

Madame Sarah CHEMTOB

Madame Emmanuelle BOURDON

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

BOULOUARD Michel	Physiologie, Pharmacologie
BUREAU Ronan	Biophysique, Chémoinformatique
COLLOT Valérie	Pharmacognosie
DALLEMAGNE Patrick	Chimie médicinale
DAUPHIN François	Physiologie, Pharmacologie
DELEPEE Raphaël	Chimie analytique
FABIS Frédéric	Chimie organique
FRERET Thomas	Physiologie, Pharmacologie
GARON David	Botanique, Mycologie, Biotechnologies
GIARD Jean-Christophe	Bactériologie, Virologie
MALZERT-FREON Aurélie	Pharmacie galénique
ROCHAIS Christophe	Chimie organique
SCHUMANN-BARD Pascale	Physiologie, Pharmacologie
SICHEL François	Toxicologie
SOPKOVA Jana	Biophysique, Drug design
VOISIN-CHIRET Anne-Sophie	Chimie médicinale

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

ANDRE Véronique – HDR	Biochimie, Toxicologie
BOUET Valentine – HDR	Physiologie, Pharmacologie
CAILLY Thomas – HDR	Chimie bio-inorganique, Chimie organique
DENOYELLE Christophe – HDR	Biologie cellulaire et moléculaire, Biochimie, Cancérologie
DHALLUIN Anne	Bactériologie, Virologie, Immunologie
ELDIN de PECOULAS Philippe – HDR	Parasitologie, Mycologie médicale
GROO Anne-Claire	Pharmacie galénique
KIEFFER Charline	Chimie médicinale
KRIEGER Sophie (Praticien hospitalier)	Biologie clinique
LAPORTE-WOJCIK Catherine	Chimie bio-inorganique
LEBAILLY Pierre –HDR	Santé publique
LECHEVREL Mathilde – HDR	Toxicologie
LEGER Marianne	Physiologie, Pharmacologie
LEPAILLEUR Alban –HDR	Modélisation moléculaire
N'DIAYE Monique	Parasitologie, Mycologie médicale, Biochimie clinique

PAIZANIS Eleni	Physiologie, Pharmacologie
POTTIER Ivannah	Chimie et toxicologie analytiques
PREVOST Virginie – HDR	Chimie analytique, Nutrition, Education thérapeutique du patient
QUINTIN Jérôme	Pharmacognosie
RIOULT Jean-Philippe	Botanique, Mycologie, Biotechnologies
SINCE Marc	Chimie analytique
VILLEDIEU Marie	Biologie et thérapies innovantes des cancers

PROFESSEUR AGREGE (PRAG)

PRICOT Sophie	Anglais
----------------------	---------

PERSONNEL ASSOCIE A TEMPS PARTIEL (PAST)

SAINT-LORANT Guillaume	Pharmacie clinique
SEDILLO Patrick	Pharmacie officinale
RICHARD Estelle	Pharmacie officinale

Enseignants titulaires du Diplôme d'Etat de Docteur en Pharmacie

Etude

ethnobotanique de

Camelina sativa (L.)

Crantz

Remerciements

Je remercie mon directeur de thèse Monsieur Garon, professeur de botanique, mycologie et biotechnologies qui me fait l'honneur de présider le jury de ma thèse.

Je remercie Madame Laporte-Wojcik Catherine, maitre de conférences en chimie bio-inorganique pour les judicieux conseils, ses nombreuses relectures qui m'ont permis de mener à bien ce travail et pour son soutien.

Je remercie Monsieur Rioult Jean-Philippe maitre de conférences en botanique, mycologie et biotechnologies pour ses lectures et ses remarques constructives.

Je remercie Monsieur Quintin maitre de conférences en pharmacognosie pour ses relectures.

Je remercie toutes les personnes qui ont participé à la réalisation de ce travail : Madame Malzert-Freon, professeur de pharmacie galénique pour sa correction de la fiche shampoing, Madame Mirkovic Valérie et Madame Thomine Clémence.

Je remercie l'ensemble de mes collègues de travail (pharmacie Hunault, pharmacie Couetoux du Tertre et pharmacie Le Ny) pour leurs aides, leurs conseils et leurs amitiés.

Je remercie mes ami(e)s qui m'ont toujours poussée et soutenue dans cette voie ainsi que mes camarades de promotion.

Je remercie ma famille : mes parents, mon frère, ma tante Je vous remercie pour votre soutien, vos encouragements et votre participation depuis le début de cette aventure.

Mes derniers remerciements et pensées vont à mes deux grand-mères qui m'ont toujours soutenue pendant mes études mais qui verront la conclusion de là-haut.

Table des matières

Liste des abréviations	12
I. Introduction	14
II. Historique rapide des huiles végétales	15
III. Généralités sur les huiles végétales	18
A. Définition	18
B. Structure d'une graine oléagineuse	19
C. Procédés d'obtention d'une huile végétale	20
1. Extraction par pression	20
a) Extraction par une première pression à froid	20
b) Extraction des graines oléagineuses	21
c) Extraction des fruits oléagineux	26
2. Extraction au solvant	27
a) Extraction au n-hexane	28
(1) Les caractéristiques du n-hexane	28
(2) Dangers de l'utilisation du n-hexane (C ₆ H ₁₄) et directives	29
(3) L'extraction proprement dite	31
b) Extraction à l'aide du CO ₂ supercritique	31
D. Composition chimique d'une huile végétale	34
1. Les triglycérides	35
2. Les acides gras, AG	36
a) Acides gras saturés, AGS	37
b) Acides gras insaturés, AGI	38
(1) Acides gras monoinsaturés, AGMI	46
(2) Acide gras polyinsaturés, AGPI	47
(a) Les Oméga 3	57
(b) Les Oméga 6	63

(c) Ratio Oméga 6 / Oméga 3	63
3. Les insaponifiables.....	68
a) Les vitamines	69
b) Les phytostérols.....	71
c) Les hydrocarbures	80
d) Les cires naturelles végétales	82
E. Classification des huiles végétales	82
1. Classification des huiles végétales en fonction de leur AG majoritaire	82
2. Classification des huiles végétales en fonction de leur point de fumée	85
3. Classification des huiles végétales en fonction de leur cultivar	87
F. Production et consommation des huiles végétales	90
G. Domaines d'utilisation des huiles.....	97
1. L'alimentation	97
2. La pharmacie	101
3. La cosmétologie.....	103
4. Les biocarburants	105
5. Autres.....	108
H. Quelques exemples d'huiles végétales.....	109
1. L'huile de colza	114
a) Composition de l'huile	116
b) Utilisation de l'huile	119
2. L'huile de tournesol.....	120
a) Composition de l'huile	122
b) Utilisation de l'huile	123
3. L'huile d'olive	124
a) Composition de l'huile	130
b) Utilisation de l'huile	131

(1) Dans le domaine alimentaire.....	131
(2) Intérêt médicinal.....	132
(3) En cosmétologie.....	136
(4) Autres usages.....	137
4. L'huile de lin	137
a) Composition de l'huile	138
b) Utilisation de l'huile	140
(1) Levée de l'interdiction de l'huile de lin à usage alimentaire.....	141
(2) Dans le domaine alimentaire.....	142
(3) En cosmétologie.....	145
(4) Autres usages.....	145
IV. Cas particulier de l'huile de cameline	147
A. Pourquoi l'huile de cameline ?.....	147
1. Intérêts de la cameline	148
2. Historique de l'utilisation de la cameline	148
B. Présentation botanique de <i>Camelina sativa</i> (L.) Krantz.....	153
C. Culture de la cameline	161
1. Monoculture	168
a) Type de semoir	170
b) Taux de semis	170
c) Date du semis.....	171
2. Culture en association	173
3. Rotation des cultures.....	176
4. Utilisations agro-environnementales	180
D. La graine de cameline	191
E. L'huile de cameline.....	194
1. Obtention de l'huile.....	194

2.	Composition chimique	199
a)	Les acides gras, AG	202
b)	Les tocophérols	207
c)	Les phytostérols	210
d)	Les phénols	214
e)	Les phospholipides	215
3.	Contrôle d'identité et de pureté	219
4.	Entreposage, embouteillage et péremption	227
F.	<i>Camelina sativa</i> et les utilisations de son huile	238
1.	Utilisations de l'huile de cameline	238
a)	En pharmacie	238
(1)	Véhicule pour les huiles essentielles	238
(2)	Qualités en tant que complément alimentaire	243
b)	Cosmétologie	244
(1)	Soin de la peau	245
(2)	Soin des cheveux	251
c)	Alimentation	254
(1)	Propriétés nutritionnelles et diététiques de l'huile de cameline	257
(2)	Quelques recettes avec de l'huile de cameline	266
d)	Les biocarburants	269
e)	La nutrition animale	274
2.	Utilisations des tourteaux de cameline	278
V.	Conclusion	283
VI.	Bibliographie	285
VII.	Annexes	304
	Annexe n°1 : Tableaux extrait du rapport de l'ANSES	304
	Annexe n°2 : Score IPSS : International Prostate Score Symptom	306

Annexe n°3 : Les normes internationales	308
Annexe n°4 : Liste des allergènes	310
Liste des figures	312
Liste des tableaux	324
Glossaire.....	331

Liste des abréviations

AA = ARA : Arachidonic Acide : Acide arachidonique.
AESA = Apport Energétique total Sans Alcool.
AET : Apport Energétique Total.
AFIDOL : Association Française Interprofessionnelle De l'Olive.
AFSSA : Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments.
AG : Acide Gras.
AGE : Acide Gras Essentiel.
ALA : Acide α -linoléinique.
AGCM : Acide Gras à Chaîne Courte ou Moyenne.
AGL : Acide Gras Libre.
AGLC : Acide Gras à Longue Chaîne.
AGMI ou MUFA : Acide Gras Mono Insaturé ou MonoUnsaturated Fatty Acids.
AGPI ou PUFA : Acide Gras Poly Insaturé ou PolyUnsaturated Fatty Acids.
AGPI-LC (Acides Gras Polyinsaturés à Longue Chaîne).
AGS : Acide Gras Saturé.
ANC : Apport Nutritionnel Conseillé.
ANSES : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail.
AS : Apport Satisfaisant.
ATP : Adénosine TriPhosphate.
BNM : Besoin Nutritionnel Moyen.
C : Carbone.
C A S : Cuillère A Soupe.
COX : Cyclooxygénase.
CRP : C-Réactive Protein ou Protéine C Réactive.
CSHPF : Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France.
DDM : Date de Durabilité Minimale.
DGCCRF : Direction Générale de la Concurrence, de la Consommation et de la Répression des Fraudes.
DGLA : Acide Gamma Dihomo Linoléinique.
DHA : DocosaHexaenoic Acid : Acide DocosaHexénoïque.
DPA : DocosaPentaenoic Acid : Acide DocosaPentaénoïque.
EFSA : Autorité Européenne de Sécurité des Aliments.
EPA : EicosaPentaenoic Acid : Acide EicosaPentaénoïque.
Gr : Groupe.
HDL : High Density Lipoprotein : Lipoprotéine de Haute Densité.
HV : Huile végétale.
HVB : Huile Végétale Brute.
HVC : Huile Végétale Carburant.
IC : Intervalle de Confiance.
IL : Interleukine.
IMC : Indice de Masse Corporelle.
INRS : Institut National de Recherche et de Sécurité.
IR : Intervalle de référence.

IUPAC : Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée.
kcal : kilocalorie.
kg : kilogramme.
LA : Linoleic Acid : Acide linoléique.
LDL : Low Density Lipoprotein : Lipoprotéine de Faible Densité.
LOX : Lipoxygénase.
LPC : LysoPhosphatidylCholine.
LPE : LysoPhosphatidylEthanolamine.
LPI : LysoPhosphatidylInositol.
LPL : LipoProtéine Lipase.
LT : Leucotriène.
LS : Lepeltier Sonia.
min : Minute.
OIT : Stabilité à l'Oxydation.
OMS : Organisation Mondiale de la Santé.
ONG : Organisation Non Gouvernementale.
Pa : Pascal (unité de pression).
Pc : Pression critique.
PC : Phosphatidylcholine.
PE : Phosphatidyléthanolamine.
PH : Phospholipides.
PG : Prostaglandine.
PG E2 : Prostaglandine E2.
PG F2 : Prostaglandine F2.
PG G2 : Prostaglandine G2.
PG H2 : Prostaglandine H2.
PG I2 : Prostacycline.
PI : PhosphatidylInositol.
PPAR : Peroxisome Proliferator-Activated Receptor : Récepteur Activé par les Proliférateurs de Peroxysomes.
PPM : Partie Par Million.
PS : Phosphatidylsérine.
PV : Peroxyde Value ou Indice de Peroxyde ou IP.
RNP : Référence Nutritionnelle pour la Population.
SAU : Superficie Agricole Utilisée.
SC : Supercritique.
TAG : Triglycéride
Tc : Température critique.
TNF- α : Facteur de Nécrose Tumorale α .
TX A2 : Thromboxane A2.
VLDL : Very Low Density Lipoprotein : Lipoprotéine de très Basse Densité.
 ω 3 : Oméga 3.
 ω 6 : Oméga 6.
 ω 9 : Oméga 9.

I. Introduction

Travaillant en officine depuis 2014 comme étudiante et ayant le statut de professionnelle de santé, je souhaitais travailler, dans la cadre de ma thèse, un sujet qui puisse me servir dans l'exercice de ma profession et apporter un plus aux patients. Mes réflexions se sont orientées vers les huiles végétales, celles-ci étant d'excellents véhicules pour les huiles essentielles. Lors de mes recherches bibliographiques, de nouvelles huiles végétales sont arrivées sur le marché et d'anciennes sont redevenues à la mode. Le choix de traiter de l'huile de cameline, huile d'origine végétale, m'est alors apparu pertinent. De plus, cette « nouvelle et ancienne » huile a des utilisations dermatologiques et nutritionnelles alliant cosmétologie et nutrition, deux domaines que j'apprécie particulièrement. Actuellement, cette huile connaît en effet un regain d'intérêt comme l'atteste l'essor de la culture de la cameline. Ce sujet répond donc bien à mes diverses attentes.

Notre intérêt va se porter tout d'abord sur les huiles végétales alimentaires (composition, domaines d'utilisation...). Nous ferons ensuite un point sur quatre huiles : huile de tournesol, huile de colza, huile d'olive et huile de lin. Pour nous focaliser ensuite sur la cameline et son huile.

II. Historique rapide des huiles végétales

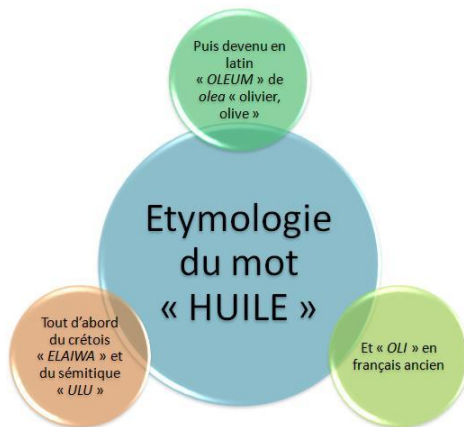


Figure n°1 : Etymologie du mot « huile »
par Mme Laporte Wojcik Catherine et LS

Le mot « huile » a évolué au cours du temps. *Oli(e)*, en ancien français, a donné *oile* et enfin *uile* au XIII^{ème} siècle. Or, le u et le v s'écrivant de la même façon à l'époque, il y avait risque de confusion entre *uile* et *vile* (ancien mot pour ville), c'est pourquoi, le « h » initial a été ajouté donnant le mot « *huyle* » en moyen français.

L'huile fait partie de notre quotidien depuis très longtemps et apparaît dans de nombreuses citations.



« L'homme sans patience est la lampe sans huile »

• Alfred de Musset



« Afin qu'une lampe continue de brûler,
il faut y ajouter de l'huile »

• Mère Teresa



« Il faut quatre hommes pour faire une salade: un prodigue pour l'huile, un avare pour le vinaigre, un sage pour le sel et un fou pour le poivre »

• Coppée François

Figure n°2 : Différentes citations par le dico-Citations (97)

De tout temps, hommes et huiles ont cohabité comme l'illustre la frise ci-dessous (figure n°3). Cela a commencé à la préhistoire jusqu'à nous aujourd'hui. L'utilisation des huiles végétales a touché de nombreux domaines : l'alimentation, l'éclairage, la santé et la beauté.

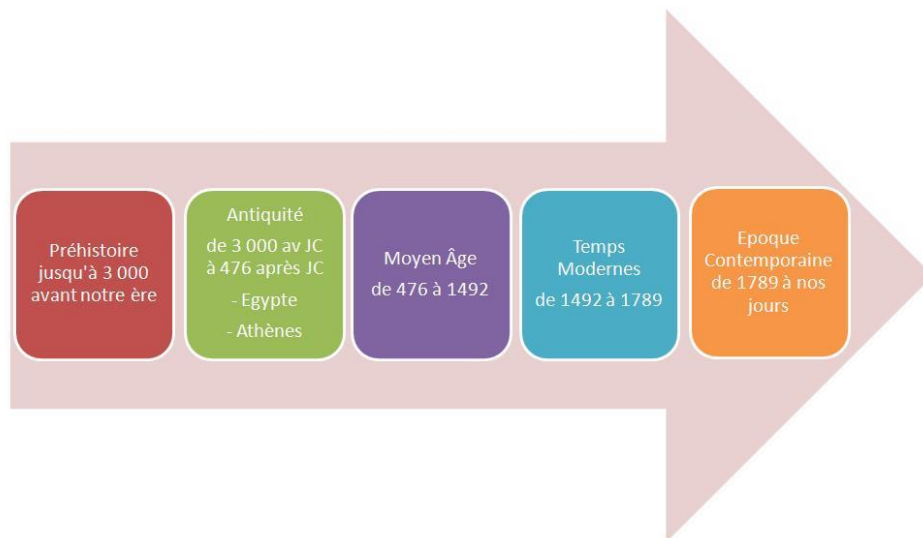


Figure n°3 : Les différentes périodes historiques d'utilisation des huiles à partir de Julien Pierre (170) et Abbaye de Chaalis Institut de France (4)

Epoque	Usages
Préhistoire	Combustible Lampe à huile Premiers pressoirs
Egypte ancienne	Soin des morts Fabrication d'onguent Religion & beauté
Athènes	Huile d'olive: soin du corps, parfum Remède médical
Antiquité	2 huiles principales: huile d'olive, à l'ouest et l'huile de sésame, à l'est Evolution de la lampe à huile

Epoque	Usages
Moyen-âge	Eclairage Religion & Alimentation humaine
Les temps modernes	Succès du savon de Marseille Premières importations de colza et tournesol
Epoque contemporaine	Invention de la presse hydraulique Premiers procédés d'extraction de l'huile → Industrialisation de la récolte et de l'obtention des huiles Elargissement des secteurs d'utilisation: Biocarburants

Tableau n°1 : Domaine d'utilisation des huiles durant les différentes périodes historiques à partir d'Afidol (8) et Julien Pierre (170)

III. Généralités sur les huiles végétales

A. Définition

Une **huile** est définie comme :

- « une substance grasse, liquide à la température ordinaire et insoluble dans l'eau, d'origine végétale, animale ou minérale, employée à de nombreux usages », selon le dictionnaire Larousse. (185)

Une **huile végétale** est

- « un corps gras obtenu à partir d'un produit végétal oléagineux dont les graines, fruits ou noix contiennent des lipides », selon l'internaute. (181)

La figure suivante illustre la diversité de la composition chimique d'un corps gras.

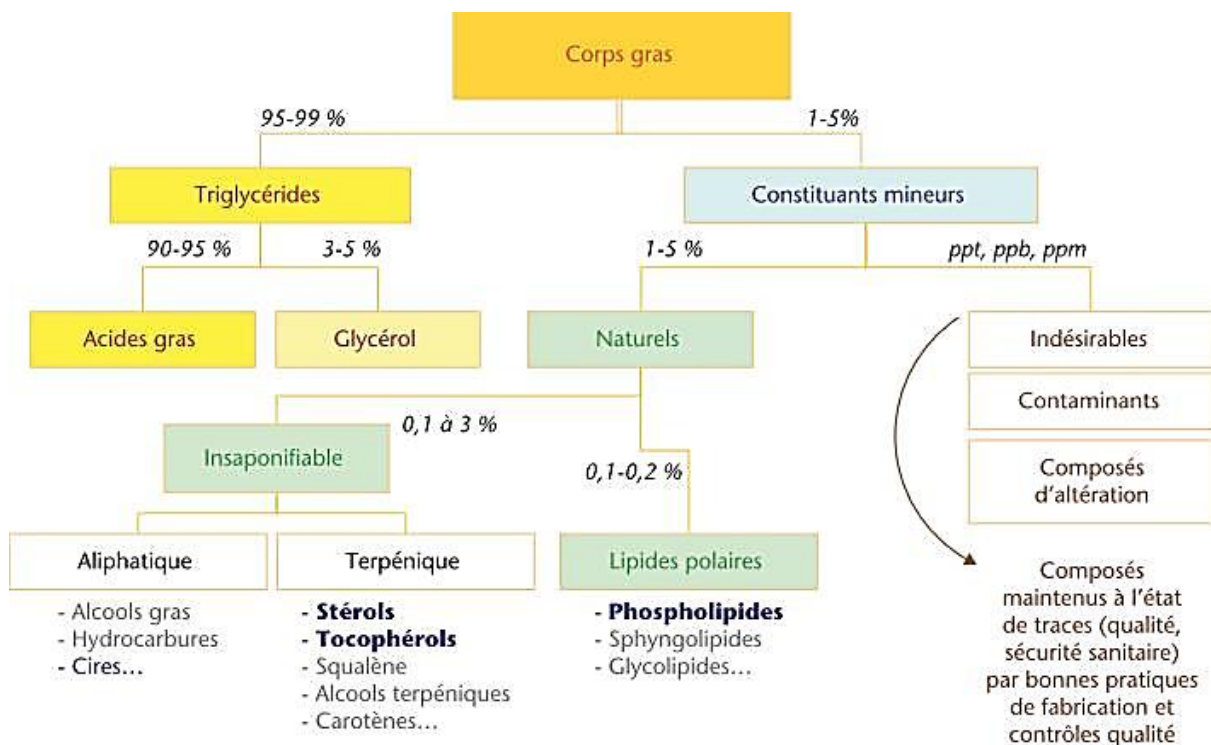


Figure n°4 : Composition panoramique des corps gras et importance relative des principales classes de composés d'après Morin et Pagès-Xatart-Parès (216)

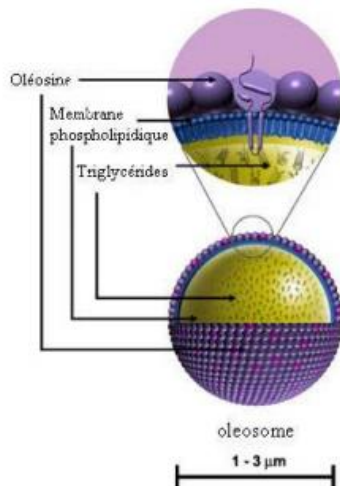
Attention à ne pas confondre huiles végétales et macérats huileux ou extraits lipidiques obtenus, eux, par macération de plantes ou parties de plantes dans une huile végétale vierge pendant plusieurs semaines, en moyenne de 4 et 6 semaines.

Les huiles végétales sont extraites de plantes oléagineuses. Les graines ou les fruits de ces plantes contiennent des lipides et sont de précieux réservoirs d'acides gras tant à usage alimentaire qu'à usage industriel.

Il existe de nombreuses utilisations pour les huiles : les huiles à usage alimentaire (destinées à la consommation humaine et/ou animale), les huiles à usage cosmétique (produits d'hygiène et d'embellissement), les huiles à usage industriel (biocarburants, lubrifiants).

B. Structure d'une graine oléagineuse

C'est en pressant la graine qu'on obtient l'huile mais où se situe-t-elle dans la graine ? Dans les oléosomes ou « *oils bodies* » en anglais.



Les oléosomes sont des structures intracellulaires composées : « d'un cœur de triglycérides entouré d'une monocouche de phospholipides dans laquelle s'insèrent de petites protéines, majoritairement des oléosines. » d'après Roux Emeline (253).

Figure n°5 : Structure d'un oléosome
par Savoie Raphaëlle (261)

Le cœur est constitué de lipides neutres hydrophobes qui seront ensuite hydrolysés en acides gras. Cette réserve de lipides est libérée par la graine germée pour la croissance de la plante. Les oléosines sont des protéines qui s'insèrent dans la couche de phospholipides. Elles ont plusieurs rôles : détermination de la taille des oléosomes, résistance à l'extraction... Ainsi les oléosomes de colza ou de lin sont petits et résistants (*via* le grand nombre de protéines qui les recouvrent) par comparaison à ceux de l'olive, fruit oléagineux. Parmi les autres familles de protéines présentes, on retrouve les stéroléosines et les caléosines.

C. Procédés d'obtention d'une huile végétale

L'huile végétale peut venir de deux filières distinctes : l'artisanale et l'industrielle, cette dernière permettant d'obtenir en général de plus grands rendements. En fonction de la taille des usines, entre 800 et 2 000 tonnes de graines écrasées sont transformées par jour (ceci est valable pour le colza et le tournesol).

D'après le *Codex Alimentarius* (79) et selon leurs processus d'obtention, les huiles végétales auront différents adjectifs qualificatifs :

- **Huile vierge** : huile qui a subi uniquement des procédés d'extraction mécanique (pas de traitement chimique ou de raffinage). Cette technique permet de s'assurer de la qualité de l'huile.
- **Huile vierge de première pression à froid** : huile obtenue par un broyage mécanique à une température ambiante.
- **Huile raffinée** : huile qui a subi un ensemble d'opérations en suivant un cahier des charges pour éliminer des composés non désirés.

Dans la partie qui suit, nous allons détailler plusieurs méthodes d'extraction de l'huile. Il existe principalement deux procédés d'extraction de l'huile : soit par pression soit par un solvant. Il n'y a aucune obligation d'indiquer la méthode de fabrication sur la bouteille d'huile. Une étiquette mentionnant simplement « huile » indique uniquement que cette dernière a été obtenue grâce à un procédé utilisant des solvants.

1. Extraction par pression

Il s'agit d'un procédé faisant intervenir une pression mécanique.

a) Extraction par une première pression à froid

La mention « première pression à froid » est réservée aux huiles n'ayant subi aucun procédé thermique. Cette technique d'extraction permet de ne pas dénaturer l'huile et d'en conserver les vertus. Le rendement est certes moins bon qu'avec une extraction à chaud mais les propriétés nutritives du produit sont conservées. Les nutritionnistes les recommandent mais il faut savoir qu'une huile pressée à froid va moins bien tolérer la chaleur qu'une huile raffinée.

Le procédé décrit ci-dessous est une méthode traditionnelle utilisé par l’Huilerie Emile Noël pour obtenir une huile vierge de première pression à froid (224). C’est une huilerie familiale qui produit des huiles biologiques mais aussi des vinaigrettes et des sauces.

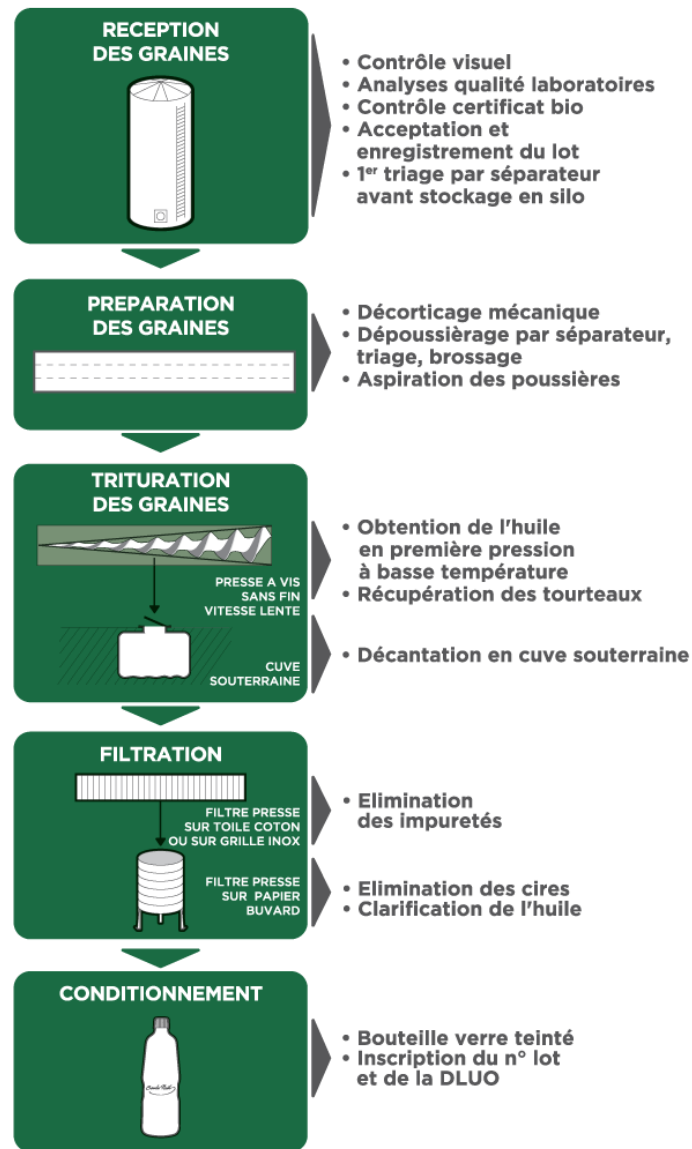


Figure n°6 : Fabrication des huiles végétales d’après le protocole de l’huilerie Emile Noël (224)

b) Extraction des graines oléagineuses

Pour obtenir une qualité satisfaisante d’huile, une bonne préparation des graines est indispensable. Les graines vont subir une trituration, processus qui comporte plusieurs étapes dont le broyage et le pressage. Le schéma ci-dessous (figure n°7) illustre le procédé d’extraction d’huile à partir des graines oléagineuses.

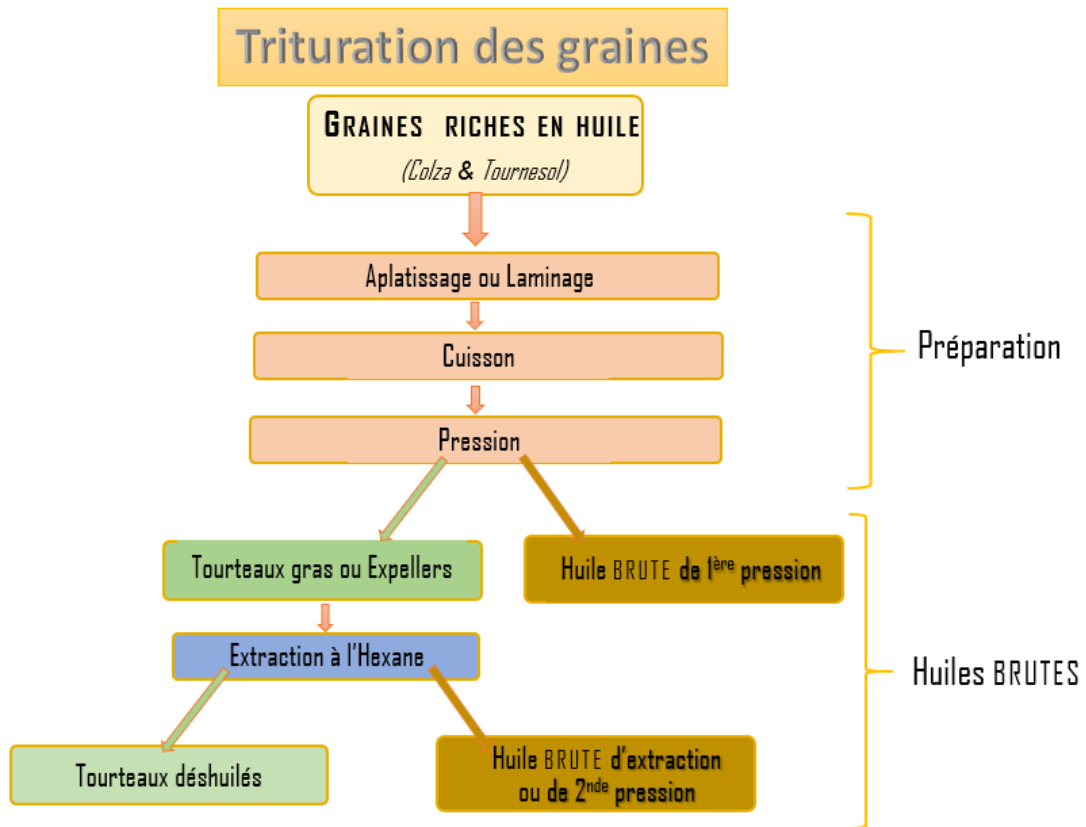
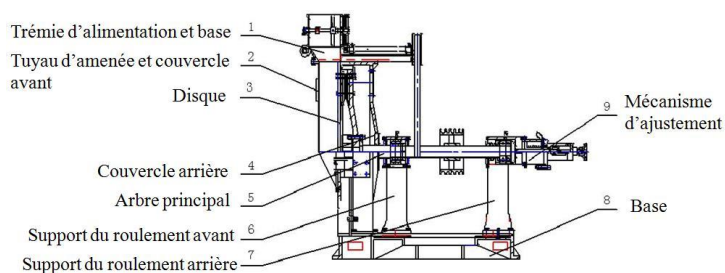


Figure n°7 : Organigramme du procédé de pressage de graines oléagineuses d'après Terres Univia (294)

Les graines sont tout d'abord nettoyées à leur arrivée dans l'usine de fabrication. Cependant, il peut subsister quelques impuretés à la fin de cette étape. Puis les graines sont décortiquées pour éliminer partiellement leurs coques. Un des effets positifs du décorticage est l'obtention d'un rendement plus élevé en huile de la matière pressée. Il existe différents décortiqueurs comme nous le montrent les travaux de Peyronnet Corinne *et al.* (237).



Le décortiqueur à disque écrase les coques ce qui permet l'émiettement de la surface rugueuse.

Figure n°8 : Décortiqueur à disque d'après KMEC (177)

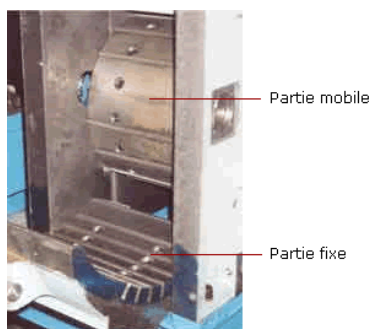


Figure n°9 : Décortiqueur à couteaux à deux parties
d'après Aboutayeb R (5)

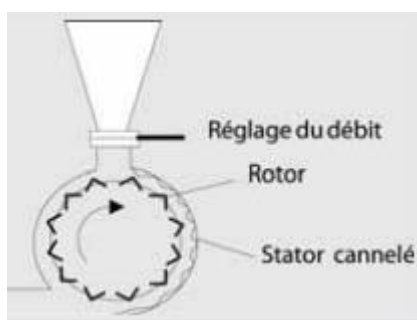


Figure n°10 : Exemple de décortiqueur multichocs type Ripple mill
par Arvalis Cetiom Infos (34)

Le décortiqueur à couteaux possède deux parties, une fixe et une mobile. La partie mobile possède une grande vitesse de rotation entraînant un effet de cisaillement.

Le décortiqueur multichocs :
Type Bühler ou impacteur centrifuge
Type Ripple mill ou Ripple flow
Séparation des coques et des amandes (via une différence de masse volumique dans un courant d'air).

	Type Bühler ou impacteur centrifuge	Type Ripple mill ou Ripple flow : impacts multiples
Principe de fonctionnement	Propulsion des graines à décortiquer par la force centrifuge pour des impacts contre une cible concentrique	Rotor type cage d'écureuil et stator ondulé permettant de créer des impacts répétés pour le décortilage de graines comme le tournesol
Principales caractéristiques	Diamètre de l'impacteur : 400 mm Vitesse de rotation jusqu'à 5000 rpm Alimentation par trémie vibrée	Ajustement du débit par contrôle de la taille de l'orifice d'alimentation gravitaire Vitesse de rotation commandée par servomoteur jusqu'à 4500 rpm

Tableau n° 2 : Le principe de fonctionnement et les principales caractéristiques des décortiqueurs multichocs
d'après OLEAD (228)

Ensuite, les graines nettoyées et décortiquées sont broyées. Cette opération a plusieurs noms : laminage ou aplatisage et se fait principalement avec des broyeurs à cylindres (lisses ou cannelés). Elle permet d'obtenir des flocons.

Les cylindres sont lisses pour les graines de colza ou de tournesol. La taille des particules obtenues dépendra de l'écartement entre les deux cylindres.



Figure n°11 : Broyeurs à cylindres lisses et broyeurs à cylindres cannelés par Cloutier Michel (77)

Puis vient l'étape du traitement thermique ou cuisson des flocons qui a pour objectif un ramollissement des tissus, une augmentation de la fluidité de l'huile, une coagulation des protéines et une désactivation des enzymes notamment des lipases.

L'étape d'extraction mécanique ou pressage suit et permet d'obtenir d'une part, une huile brute de première pression et d'autre part, des tourteaux gras ou expellers. Les tourteaux gras, coproduits de la trituration, contiennent encore de l'huile (environ 2 %). L'huile résiduelle sera extraite le plus souvent par un procédé chimique, à l'aide d'un solvant comme par exemple, l'hexane afin d'obtenir l'huile dite brute d'extraction. Les tourteaux déshuilés sont une source de protéines pour l'alimentation animale

Les huiles brutes (huile brute de pression + huile brute d'extraction nommée aussi huile de seconde pression) vont subir alors les étapes de raffinage. Le tableau suivant extrait du cahier de nutrition et de diététique (Evrard J *et al.* (115)) présente les constituants indésirables des huiles « brutes » à éliminer au cours du raffinage.

Nature des constituants	Pourcentage ou teneur	Origine	Inconvénient de leur présence
Acides gras libres	0,3 à 5 %	Constituants naturels libérés par hydrolyse	Goût, fumée, hydrolyse
Phospholipides	0,2 à 1,8 %	Constituants naturels	Aspect trouble, instabilité organoleptique, dépôt et brunissement à chaud
Produits d'oxydation	Varie selon la matière première	Auto-oxydation	Instabilité organoleptique, couleur, nutrition
Flaveurs	< 0,1 %	Naturelle, auto-oxydation	Odeur, goût
Cires	$n \times 100$ mg/Kg	Constituants naturels	Aspect trouble
Pigments	$n \times 10$ mg/Kg	Constituants naturels	Couleur, instabilité organoleptique
Métaux (fer, cuivre)	n en mg/Kg	Constituants naturels Contamination	Catalyseurs d'oxydation
Contaminants Métaux lourds Pesticides HAP Mycotoxines	$n \times 10$ mg/tonne	Contamination	Hygiène alimentaire, santé

n = nombre entier compris entre 1 et 9

Tableau n°3 : Les constituants indésirables éliminés lors du raffinage des huiles par Evrard J *et al.* (115)

Le raffinage est une étape indispensable avant la commercialisation de l'huile en la débarrassant des impuretés qu'elle renferme. Cette opération comporte plusieurs étapes (cf. tableau n°4).

Nom de l'étape	Définition de l'étape
Démucilagination Dégommage Conditionnement acide	Enlever les « mucilages » ou « gommages » Les substances vont se précipiter au contact de l'acide sulfurique (H ₂ SO ₄) ou de l'acide phosphorique (H ₃ PO ₄).
Neutralisation	Enlever le surplus d'acide gras libre: élimination à l'aide d'une base (souvent la soude: NaOH)
Décoloration	Mélanger à des terres argileuses activées par ajout d'acide phosphorique ou sulfurique ou mélanger avec des charbons actifs pour retenir les pigments colorés (carotènes, chlorophylle...) et autres composés.
Désodorisation	Éliminer les produits odorants mais aussi volatils par injection de vapeur d'eau dans l'huile chauffée (entre 180° et 240°C), sous vide
Recoloration	A l'aide de curcumine, d'acide carruinique, de caroténoïde... pour obtenir une belle couleur
Conditionnement	Réalisé avec de l'azote pour protéger les huiles contre l'oxydation
Frigélisation « Winterisation » Décirage	Uniquement les huiles riches en cires Cristallisation puis refroidissement de l'huile Réalisée entre la décoloration et la désodorisation

Tableau n°4 : Définition des différentes étapes de raffinage

Le raffinage permet d'obtenir une huile alimentaire dite raffinée.

En fonction de la variété des graines qui arrivent pour être transformées en huile, le nombre de kilogrammes d'huile raffinée et de tourteaux est différent comme le montre l'image suivante.



Figure n°12 : Le nombre de kg de tourteaux et d'huile raffinée dans une tonne d'après Terres Univia (284)

c) Extraction des fruits oléagineux

Les fruits oléagineux vont subir un processus qui ressemble à l'extraction des graines oléagineuses. Les trois figures suivantes représentent des exemples de méthode d'extraction pour obtenir de l'huile d'olive.

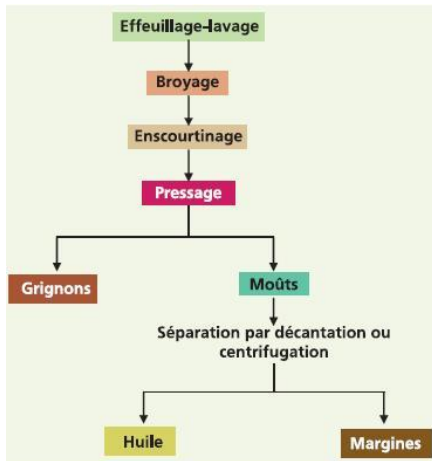


Figure n°13 : Système discontinu d'extraction par pression d'après Chimi Hammadi (72)

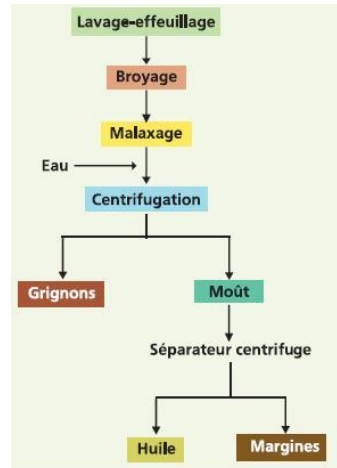


Figure n°14 : Système continu d'extraction avec centrifugation à 3 phases d'après Chimi Hammadi (72)

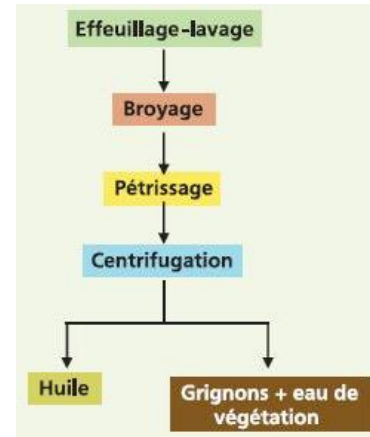


Figure n°15 : Système continu d'extraction avec centrifugation à 2 phases d'après Chimi Hammadi (72)

Le début des trois méthodes est identique. Les olives vont être lavées et les petites feuilles vont être éliminées ainsi que tous les corps étrangers comme les brindilles. Le broyage est généralement effectué à l'aide des meules.

Pour le système discontinu d'extraction par pression (cf. figure n°13), vient l'étape de l'enscourtinage : la pâte obtenue *via* les étapes précédentes est étalée en fine couche sur les scourtins (sorte de plateaux à raison de 5 à 10 kg/scourtin). Les scourtins vont ensuite être installés sur la presse. Le pressage se fait *via* des presses métalliques à vis ou des presses hydrauliques, il dure entre 45 et 60 minutes. Ceci permet d'obtenir d'un côté les grignons et de l'autre le moût. Le moût va subir une étape de décantation ou de centrifugation. La décantation permet de séparer une phase solide d'une phase liquide *via* la différence de masse volumique. Avec le temps, les particules lourdes vont se retrouver dans le fond du récipient. La centrifugation consiste elle aussi à dissocier deux éléments en fonction de leur densité mais nécessite du matériel pour créer une gravité artificielle à l'aide d'une vitesse. Ici, le moût va permettre d'obtenir de l'huile et la margine ou eaux de végétation.

Pour le système continu d'extraction avec centrifugation à 3 phases (cf. figure n°14), la pâte obtenue après le broyage est malaxée à une température élevée puis il y a une incorporation d'eau tiède. Cette addition d'eau va permettre de passer à l'étape de la centrifugation. La centrifugation permet d'avoir des grignons et du moût. Celui-ci va subir de nouveau une centrifugation pour donner l'huile et les margines.

L'avantage du système continu d'extraction avec centrifugation à 2 phases (cf. figure n°15), c'est qu'il n'y a pas besoin d'ajout d'eau pour réaliser la séparation des phases huileuses et des phases solides (grignons + margines). Ceci est possible puisque qu'il s'agit d'un décanteur avec une technologie plus récente et plus puissante.

La figure suivante nous montre un exemple de chaîne continue d'extraction d'huile d'olive.

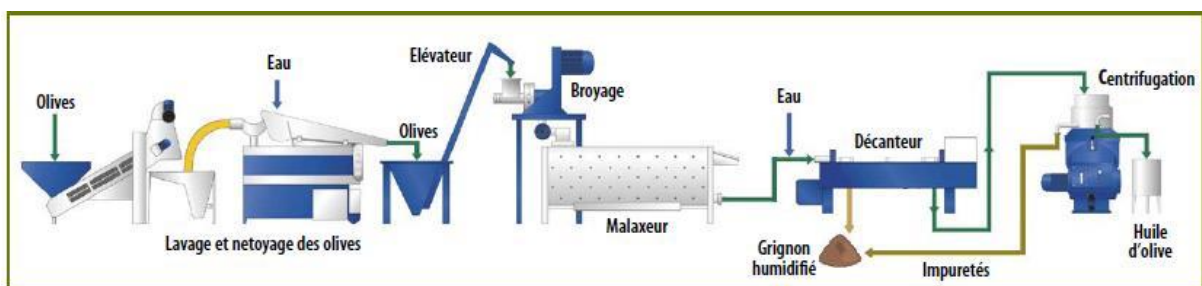


Figure n°16 : Exemple de chaîne continue d'extraction d'huile d'olive d'après Chimi Hammadi (72)

2. Extraction au solvant

Cette méthode est très utilisée. Pour commencer, il faut choisir le bon solvant (cf. figure n°17) qui va dépendre de nombreux paramètres.

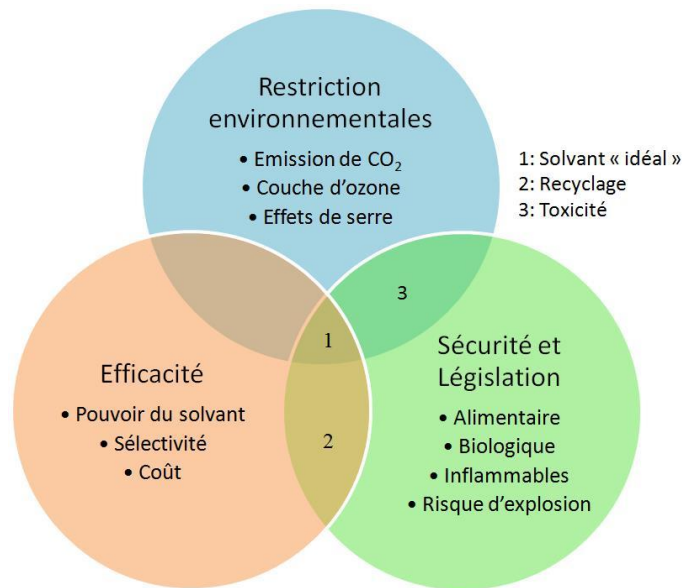


Figure n°17 : Le « solvant idéal » d'après le guide des bonnes pratiques et de l'éco-extraction de France AgriMer (124)

a) **Extraction au n-hexane**

Préalablement au procédé d'extraction, les graines sont préparées comme indiqué sur la figure ci-dessous.



Figure n°18 : Les étapes nécessaires avant l'extraction au solvant

Puis l'extraction des lipides par le solvant est réalisée. Ce procédé consiste à solubiliser l'huile dans un solvant. Le n-hexane est le plus largement utilisé pour l'extraction des graines oléagineuses. La solution obtenue, mélange d'huile et de solvant, se nomme le miscella et sa concentration varie suivant la qualité du solvant et la richesse de l'oléagineux traité. Le rendement d'extraction est d'environ 97% alors qu'avec des procédés uniquement mécaniques, il est d'environ 89 %. L'extraction d'1 kg d'huile nécessite près d'1,5 litre de solvant.

Les « huiles procédés solvant » n'ont pas l'obligation de le citer sur l'étiquette.

(1) Les caractéristiques du n-hexane

Les caractéristiques du n-hexane (C₆H₁₄) sont rassemblées dans le tableau ci-dessous.



Figure n°19 : Structure linéaire de l'hexane (C₆H₁₄) d'après la Royal Society of Chemistry (254)

Nom Substance	Détails	
n-hexane	N° CAS	110-54-3
	Etat Physique	Liquide
	Masse molaire	86,17
	Point de fusion	-94,3 °C
	Point d'ébullition	68,7 °C
	Densité	0,6603
	Densité gaz / vapeur	2,97
	Pression de vapeur	16 kPa à 20 °C 25 kPa à 30 °C 53 kPa à 50 °C
	Point d'éclair	-22 à -26 °C (coupelle fermée)
	Température d'auto-inflammation	225 °C
	Limites d'explosivité ou d'inflammabilité (en volume % dans l'air)	Limite inférieure : 1,1 % Limite supérieure : 7,5 %
Coefficient de partage n-octanol / eau (log Pow)	3,90	

Tableau n°5 : Fiche de l'hexane créée par l'INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité) (164)

Le n-hexane est non miscible à l'eau, apolaire et s'évapore rapidement.

(2) Dangers de l'utilisation du n-hexane (C₆H₁₄) et directives

Toutefois, ce produit n'a pas que des avantages : c'est un produit inflammable, explosif, irritant, cher. Il s'agit d'un solvant organique pouvant présenter un problème de santé publique (les hommes et l'environnement), même s'il est recyclable.

N-HEXANE

Danger

- H225 - Liquide et vapeurs très inflammables
- H304 - Peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires
- H315 - Provoque une irritation cutanée
- H336 - Peut provoquer somnolence ou vertiges
- H361f - Susceptible de nuire à la fertilité
- H373 - Risque présumé d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée
- H411 - Toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme

Les conseils de prudence P sont sélectionnés selon les critères de l'annexe 1 du règlement CE n° 1272/2008.
203-777-6

Figure n°20 : Les dangers du n-hexane d'après l'INRS (164)

D'après la directive n°2010/59/UE du 26 août 2010 (17), la teneur en n-hexane est réglementée : inférieure à 1 mg/kg pour les huiles. Les zones de l'usine qui se servent de l'hexane sont signalées et délimitées. Elles disposent d'un système de ventilation performant et des matériaux ignifuges y sont installés comme nous l'indique le conseil oléicole international (82). Lors de chacune des étapes nécessitant ce solvant, il y aura des contrôles de température, de teneur et de débit : analyses des teneurs de l'huile en hexane, surveillance du mélange hexane/air.

L'OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*), agence gouvernementale des Etats-Unis a donné son avis concernant la toxicité de l'hexane pour les êtres humains (230). Pour elle, « le n-hexane est un agent narcotique, une neurotoxine, un irritant pour les yeux, les voies respiratoires supérieures et la peau ». Ce résultat s'appuie sur différentes études et notamment celle de Clayton et Clayton (75) de 1982 et celle d'Hathaway *et al.* (145) en 1991. Les résultats des deux études sont regroupés dans le tableau suivant.

Dose de l'exposition (en ppm)	Durée de l'exposition (en minutes)	Symptômes
880	15	Irritation des yeux et des voies respiratoires supérieure
1 500	Quelques minutes	Nausées et maux de tête
5 000	10	Vertiges importants

*Tableau n°6 : Les effets d'une exposition à l'hexane d'après Clayton et Clayton (75) et Hathaway *et al.* (145)*

Le risque d'accident avec cette méthode est relativement élevé d'où la mise en place de normes. Les entreprises qui utilisent cette méthode sont des ICPE (Installations Classées pour la Protection de l'Environnement), elles vont devoir suivre la réglementation n°2240 relatives à l'extraction ou au traitement des huiles et corps gras d'origine animale ou végétale. En plus du risque d'explosion, il y a un risque d'incendie et de fuite avec pollution. D'après l'INRS (cf. tableau n°5), la limite inférieure d'explosivité de l'hexane en pourcentage de volume dans l'air est de 1,1 et sa limite supérieure est de 7,5. Pour limiter ce risque, la concentration dans l'air est mesurée à l'aide de sondes et des alarmes se déclenchent si le seuil est dépassé. Ces entreprises sont également confrontées à une autre problématique : le traitement des eaux usées chargées en hexane. En effet, d'après le centre pour l'écologie des sciences (66), les 50 ppm d'hexane pour un volume total d'eaux usées de 3 à 5 m³/tonne de produit utilisé ne doivent pas être dépassées.

(3) L'extraction proprement dite

Le tableau ci-dessous résume les différentes étapes de l'extraction à l'hexane.

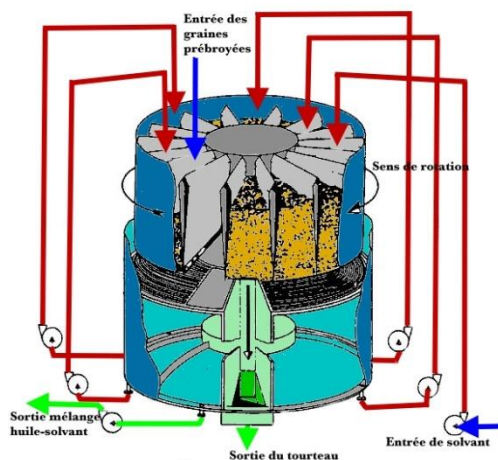


Figure n°21 : L'extraction au solvant
d'après Winfo nutrition (319)

Etapes	Description
1) Extraction (Appareils dits à contre courant)	De la graine à l'huile végétale Par diffusion, l'hexane se charge en huile ➔ Obtention du tourteau et du miscella
2) Distillation du miscella (mélange huile et hexane)	A 70 °C L'hexane s'évapore (recyclage d'une partie) et se sépare de l'huile
3) Chauffage	Température supérieure à 100 °C Injection de vapeur d'eau
4) Raffinage	Élimination des composants indésirables

Tableau n°7: Extraction avec le n-hexane

Pour toutes les raisons évoquées dans cette partie, il est donc plutôt conseillé d'utiliser une huile extraite par pression.

b) Extraction à l'aide du CO₂ supercritique

Le CO₂ est un gaz très faiblement polaire. C'est un solvant très intéressant pour des molécules apolaires ou faiblement polaires. Il est très sélectif et ne détruit pas les molécules fragiles et est largement disponible avec une bonne pureté et à bas prix.

Formule Chimique	Détails	
CO ₂	Nom	Dioxyde de carbone
	Numéro CAS	124-38-9
	Numéro CE	204-696-9
	Synonymes	Anhydride carbonique, Neige carbonique, Carboglace
Dioxyde de carbone	N° CAS	124-38-9
	Masse molaire	44,01
	Point de fusion	- 56,6 °C à 526 kPa
	Densité gaz / vapeur	1,53 (air = 1)
	Pression de vapeur	5 860 kPa à 21 °C
	Point critique	31,1 °C à 7 478 kPa

Tableau n°8: Fiche du dioxyde de carbone créée par l'INRS (164)

L'extraction comporte deux étapes successives : une extraction et une séparation. Ce procédé permet de limiter les opérations de raffinage de l'huile par rapport à la méthode d'extraction au n-hexane.

Dans un premier temps, il faut obtenir le CO₂ supercritique ou CO₂ SC. Un fluide est qualifié de supercritique quand il est chauffé au-dessus de sa température critique et comprimé davantage par rapport à sa pression critique comme le montre la figure suivante.

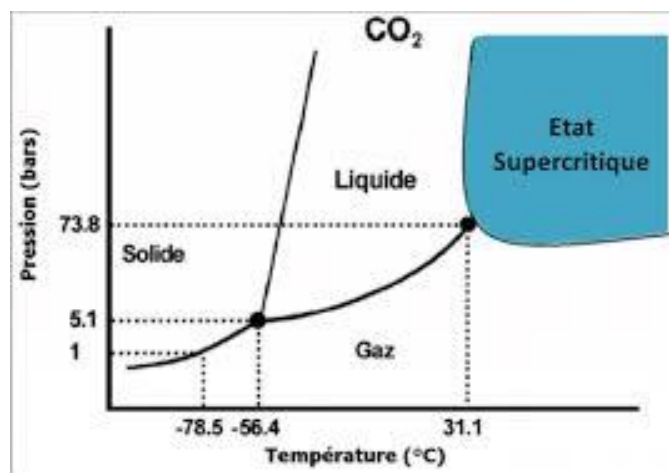


Figure n°22 : Diagramme de phase par Chahal Radwan (67)

Un corps en phase supercritique présente un comportement intermédiaire entre l'état liquide et l'état gazeux avec des propriétés particulières : masse volumique élevée comme celle des liquides, un coefficient de diffusivité intermédiaire entre celui des liquides et des gaz et une faible viscosité comme celle des gaz. Le gaz carbonique est comprimé avec une pompe à haute pression. Les paramètres vont dépendre du diagramme de phases

(cf. figure n°22). Ainsi 1000 m³ de CO₂ gazeux ne correspondent qu'à 2,7 m³ de CO₂ à l'état de fluide supercritique.

Les conditions opératoires (température et pression) vont permettre d'influencer le fort pouvoir du solvant (le CO₂ SC). En fonction de la pression, les différentes molécules vont pouvoir être extraites.

Une fois le CO₂ SC obtenu, l'extraction peut avoir lieu. Dans sa mise en œuvre en phase supercritique, il a l'avantage d'être un solvant totalement neutre, non toxique, non polluant et non inflammable.

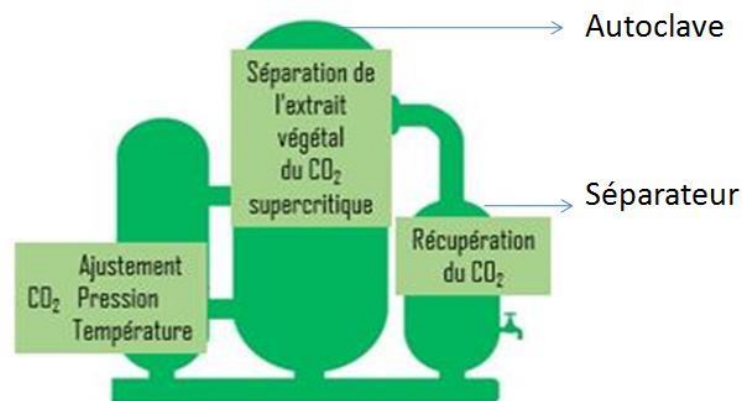


Figure n°23 : Extraction au CO₂ supercritique d'après C. Christine (61)

Placée dans l'autoclave, la matière à traiter, finement broyée est soumise au solvant SC. Dans le séparateur, le CO₂ redevient gazeux par dépressurisation et se sépare totalement de l'extrait obtenu. L'extrait végétal lui est récupéré sous forme liquide ou solide. Les rendements obtenus sont de 60 % maximum avec le CO₂ seul. La solubilité des huiles végétales va dépendre de la densité et de la température du solvant.

Différentes études ont montré, que pour avoir un meilleur rendement, il est conseillé d'avoir des températures et des pressions élevées. En revanche, l'extraction des composés antioxydants comme les tocophérols préfère des conditions plus basses ou alors il faut utiliser des co-solvants. Le pressage assisté par CO₂ supercritique semble donc être une alternative intéressante.

C'est une technique d'extraction alternative plus écologique et économique par rapport à l'extraction à l'hexane. Cependant, ce procédé possède certains inconvénients : il

est énergivore même si la consommation d'énergie de ce procédé est moindre par rapport aux autres méthodes. Ainsi l'unité d'extraction demande au même moment une grande quantité d'énergie pour mettre le CO₂ sous pression. L'acquisition des équipements nécessaires implique un investissement financier important.

L'INRS (164) nous indique les valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) dans l'air des lieux de travail.

Substance	Pays	VME (ppm)	VME (mg/m ³)	VLCT (ppm)
Dioxyde de carbone	Etats-Unis (ACGIH)	5 000 (TLV-TWA)	-	30 000 (TLV-STEL)
Dioxyde de carbone	Allemagne (valeurs MAK)	5 000	9 100	-

Tableau n°9 : Les valeurs limites d'exposition professionnelle au dioxyde de carbone d'après l'INRS (164)

D. Composition chimique d'une huile végétale

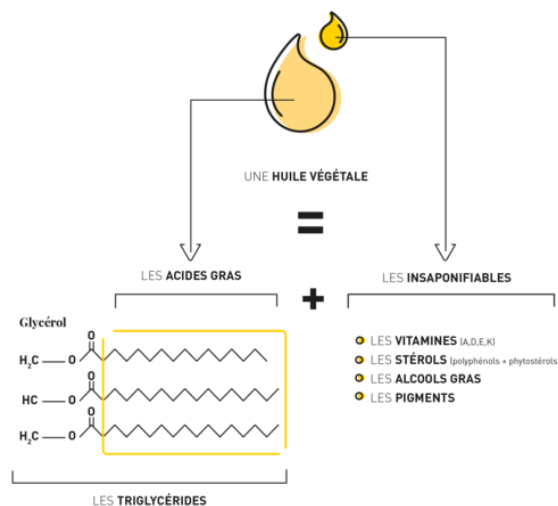


Figure n°24 : Composition d'une huile végétale par Atelier populaire (36)

Les lipides contenus dans l'huile sont classés en deux grandes catégories :

- Les lipides simples, ce sont les acides gras, les glycérides, les stérides et les cérides. La formule générale d'un lipide simple est C_nH_{2n}O₂ avec n, nombre pair d'atomes entre 4 et 24 atomes de carbone (noté C par la suite).
- Les lipides complexes comme les glycérophospholipides ou les sphingolipides. Ils contiennent d'autres atomes comme l'azote (N), le phosphore (P) ou le soufre (S).

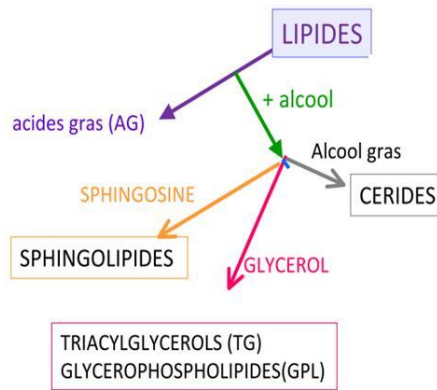
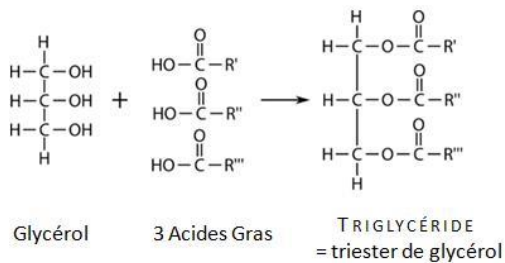


Figure n°25 : La diversité des lipides d'après Denis Isabelle (94)

Un gramme de lipide apporte 9 kcal (kilocalories) à l'organisme grâce notamment à la β -oxydation mitochondriale (contre 4 kcal pour les protéines et les glucides).

1. Les triglycérides

Les triglycérides représentent environ 98 % des lipides alimentaires ingérés. Ils constituent la forme de stockage des acides gras au sein des tissus adipeux. Ce sont des réservoirs énergétiques considérables.



Un triglycéride est constitué d'un glycérol estérifié par trois molécules d'acides gras. Les triglycérides sont constitués de 3 à 5 % de glycérol et de 90 à 95 % d'acides gras.

Figure n°26 : Structure d'un triglycéride
par Soult Allison (271)

Leur dégradation libère 3 acides gras et 1 glycérol (cf. figure n°27).

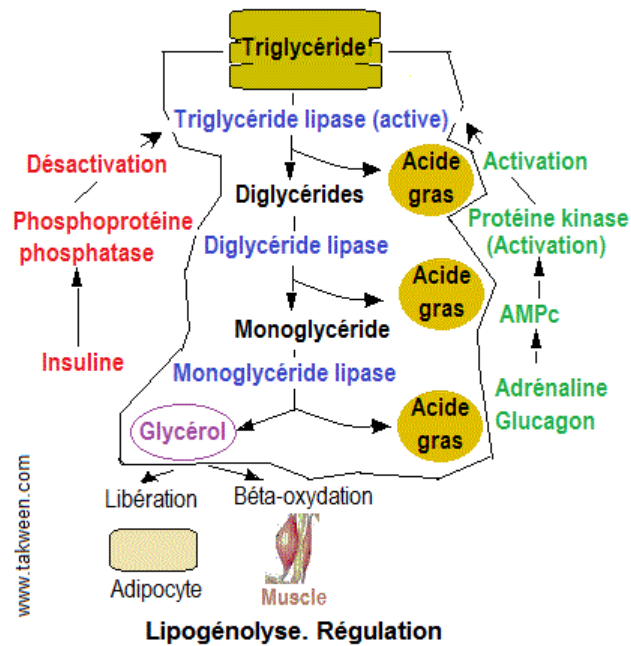


Figure n°27 : La régulation de la lipogénolyse par Takween (278)

L'insuline va stimuler la lipogénèse et diminuer la lipogénolyse. Le glucagon va avoir l'effet inverse. En fonction de l'hormone qui a la plus forte activité, la régulation sera différente.

2. Les acides gras, AG

Les AG sont insolubles dans l'eau et solubles entre eux. Les deux principales sources d'AG sont : exogènes *via* l'alimentation (la viande, les huiles ou le lait) et endogènes *via* la synthèse par l'organisme (sauf pour deux AG particuliers : l'acide linoléique (LA) et l'acide α -linoléique (ALA)).

Les AG, molécules organiques comprenant une chaîne carbonée terminée par un groupement carboxylique, peuvent être classés selon :

- La longueur de la chaîne carbonée, celle-ci varie entre 4 et 24 atomes de C.

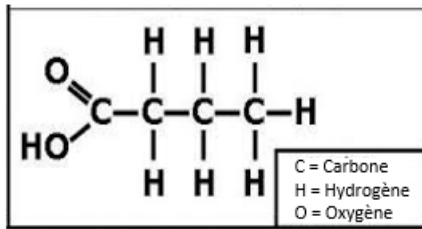


Figure n°28 : Représentation d'un AGS
(acide butyrique) d'après Sanae Bouhsain (258)

- Leur degré d'insaturation.



Figure n°29 : Représentation des AG par Primevère (241)

a) Acides gras saturés, AGS

Dénomination

Un acide gras saturé, acide carboxylique aliphatique, ne comporte aucune double liaison. Sa formule générale est $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_n-\text{COOH}$ avec n nombre d'atomes de C. La dénomination d'un AGS peut différer selon la nomenclature utilisée comme l'illustre l'exemple de l'AGS en C16 ci-dessous.

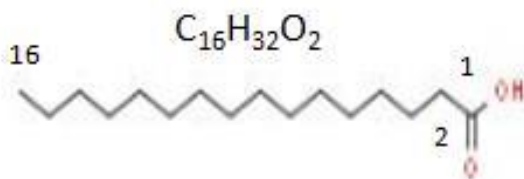


Figure n°30 : Acide palmitique
d'après la Royal Society of Chemistry (254)

Nomenclature usuelle :
acide palmitique
Nomenclature IUPAC :
acide hexadécanoïque
Nomenclature Biochimique :
C16 : 0

La dénomination la plus utilisée en physiologie ou biochimie est $\text{C}_n : 0$ avec n nombre d'atomes de C et 0 le nombre de doubles liaisons.

Une dernière dénomination est le nom trivial généralement issu de l'origine de l'acide gras. L'acide caproïque dérive du latin « *capra* » qui veut dire chèvre.

b) Acides gras insaturés, AGI

Ces molécules vont contenir des doubles liaisons (un acide gras insaturé peut encore fixer un ou plusieurs atomes d'hydrogène).

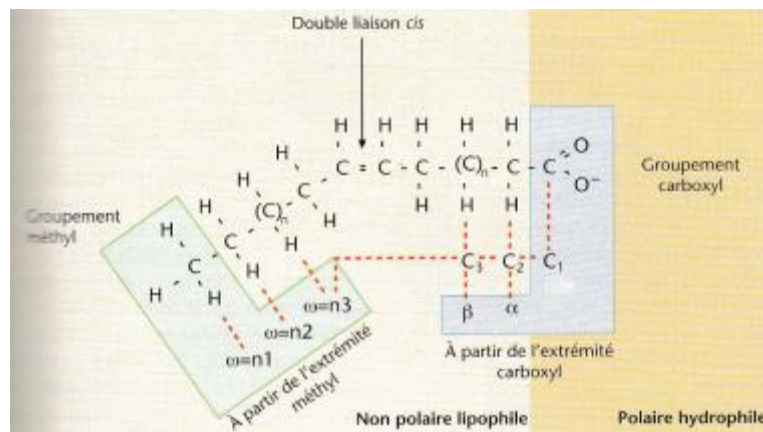


Figure n°31 : Représentation de la structure des acides gras (avec le groupement méthyle et carboxyl) d'après Biesalski et Grimm (49)

La formule générale est $C_nH_{2(n-x)}O_2$ avec n le nombre de C et x le nombre de doubles liaisons avec $n \geq 18$.

Les acides gras polyinsaturés ou AGPI ont au moins deux doubles liaisons. Chaque double liaison est séparée par un méthylène. Il existe deux types de positions : la position *cis* et la position *trans*. La configuration *trans* est souvent produite industriellement par hydrogénation partielle des produits naturels.

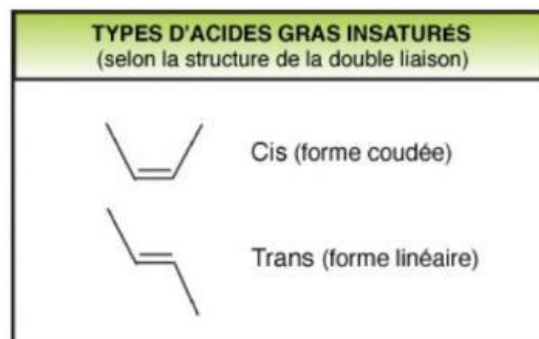


Figure n°32 : Représentation de la configuration trans et cis par l'université de Rennes (305)

Dénomination

Il existe différentes numérotations pour les doubles liaisons. Prenons l'exemple de l'acide linoléique, AGPI en C18 présentant deux insaturations.

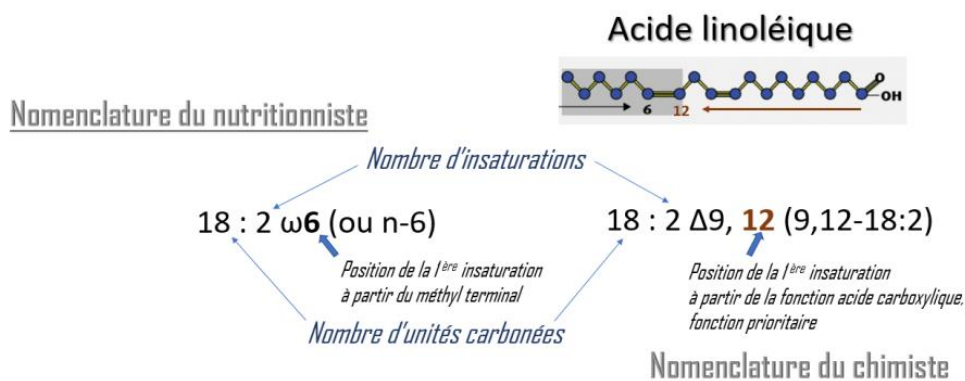


Figure n°33 : Nomenclature des acides gras : exemple de l'acide linoléique d'après Guesnet et al. (138)

La lettre ω ou n indique la position de la première double liaison en partant de l'extrémité méthyle (groupement CH_3) pour les nutritionnistes alors que la lettre Δ indique la position de la première double liaison en partant de l'extrémité carboxyle (groupement COOH) pour les chimistes.

La numérotation des doubles liaisons par les nutritionnistes permet de créer des séries : ω 3, ω 6, ω 7 et ω 9. Les séries ω 7 et ω 9 ont un précurseur que le métabolisme humain est capable de fabriquer.

Synthèse

Les différentes étapes de formation des AG chez les animaux et les végétaux sont représentées sur le schéma suivant.

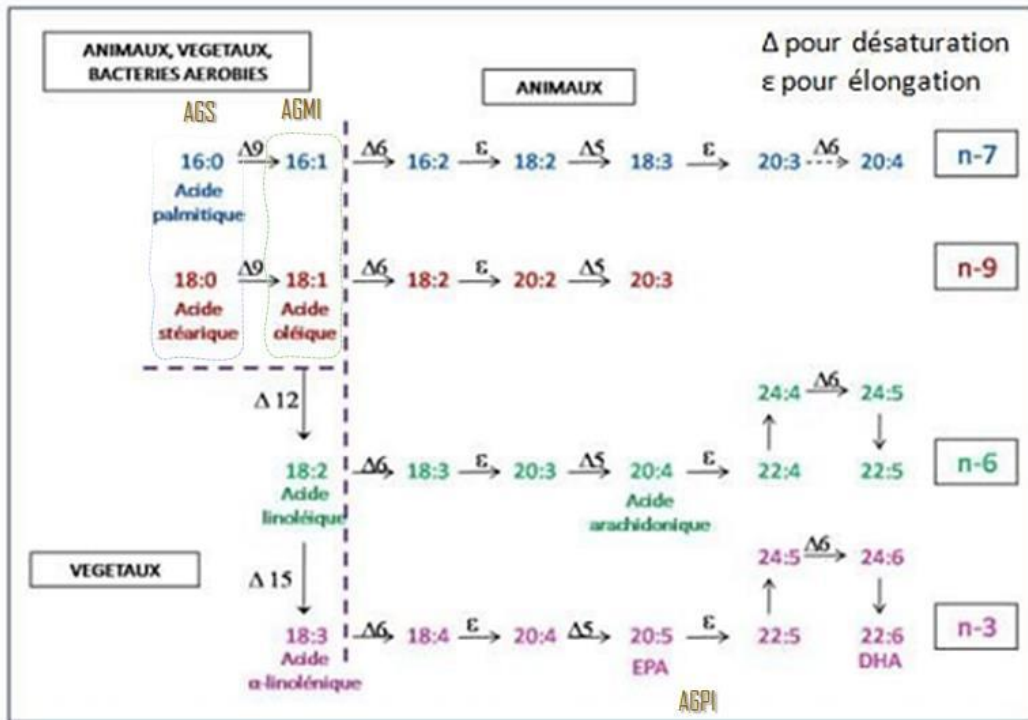


Figure n°34 : Les différentes étapes de formation des acides gras (extrait de l'actualisation des apports nutritionnels conseillés pour les acides gras publié en mai 2011 par l'ANSES (24).

L'acide linoléique (LA) et l'acide α-linolénique (ALA) sont synthétisés chez les végétaux à partir de l'acide oléique par deux enzymes (Δ12 et Δ15 désaturases spécifiques du monde végétal). Ces deux enzymes sont capables d'insérer une double liaison à 6 C et une à 3 C de l'extrémité méthyle (cf. paragraphe suivant). Le LA et l'ALA utilisent les mêmes enzymes (Δ6-désaturase, élongase et Δ5-désaturase) principalement au niveau du foie. Un excès de l'un par rapport à l'autre va entraîner une diminution de la production de celui qui est minoritaire. D'après l'étude d>Innis *et al.* (160) de 2014, la Δ6-désaturase avec un apport équivalent privilégie l'acide α-linolénique.

Grâce à l'alimentation, ces molécules sont disponibles pour l'organisme et l'homme arrive à produire le reste des acides gras nécessaires à son métabolisme. Une fois absorbés, la synthèse des AG à longue chaîne peut commencer au niveau du réticulum endoplasmique.

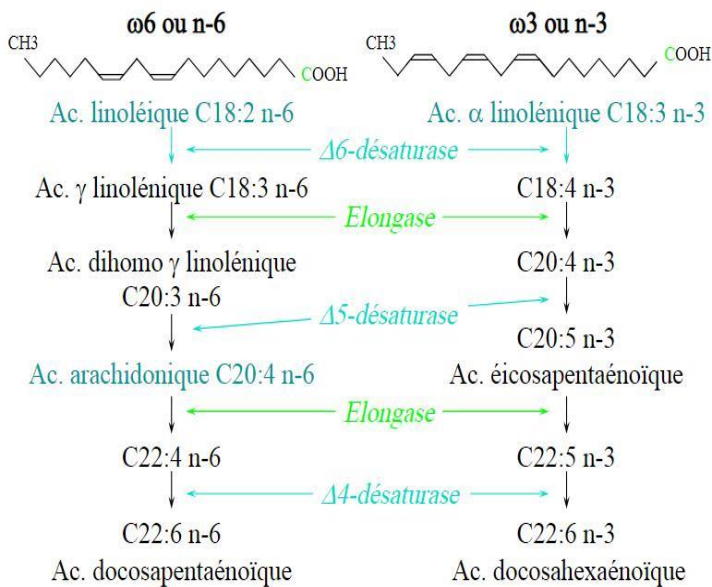


Figure n°35 : Les étapes de transformation
d'après Bouazdi et Chicouche (54)

Les désaturases permettent de former une double liaison entre l'extrémité carboxylique et une double liaison. Le nom de l'enzyme nous donne la position où est fabriquée la double liaison. La $\Delta 6$ -désaturase intervient deux fois (diminution de son activité en cas d'hyperglycémie) et la $\Delta 5$ -désaturase une fois. Les élongases permettent d'ajouter deux atomes de C en fin d'acide carboxylique. Les élongations ne sont pas une étape limitante.

La production de DHA (acide docosahexaénoïque) est faible pour plusieurs raisons : faible quantité de substrat, concurrence au niveau des enzymes et avec les AG de la série 6.



Figure n°36 : Représentation du DHA par Zediet (325)

Des études sont réalisées pour mieux comprendre les raisons de cette faible production. L'objectif est de pouvoir moduler les différents éléments qui interviennent et d'optimiser la fabrication des $\omega 3$.

Les chercheurs de l'étude dirigée par Pawlosky *et al.* (234) en 2001 ont voulu connaître les proportions d'AG disponibles pour les différentes conversions chez une personne en bonne santé.

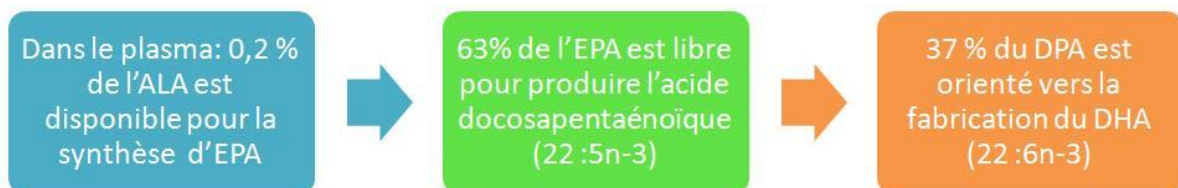


Figure n°37 : Les proportions d'acides gras disponibles pour les conversions par LS

Les chiffres nous montrent que la conversion à partir de l'ALA (tête de file des ω 3) est difficile d'où l'importance d'un apport suffisant. La première étape est, de plus, l'étape la plus limitante. D'après l'article d'Huang *et al.* (154) de 2004, la conversion de l'ALA (C18 :3) en DHA (C22 :6) est inférieure à 1 %. Le taux de conversion des AG à 18 C en EPA (C20 :5) varie de 5 à 10 %.

Les gènes FADS ; gènes d'acides gras désaturase, produisent des enzymes qui jouent un rôle essentiel dans la biosynthèse des AGPI à longue chaîne (LC-PUFAs). Les principaux sont les FADS1, FADS2 et FADS3. Deux types de désaturases existent : les désaturases frontales et les désaturases méthyliques. Parmi les désaturases méthyliques, il y a la Δ 12 et la Δ 15. Chez les humains, seules les désaturases frontales (Δ -4, Δ -5 et Δ -6) sont présentes, d'où le fait que certains acides gras sont essentiels. La figure suivante illustre les étapes d'élongation et de désaturation pour obtenir les différents acides gras polyinsaturés.

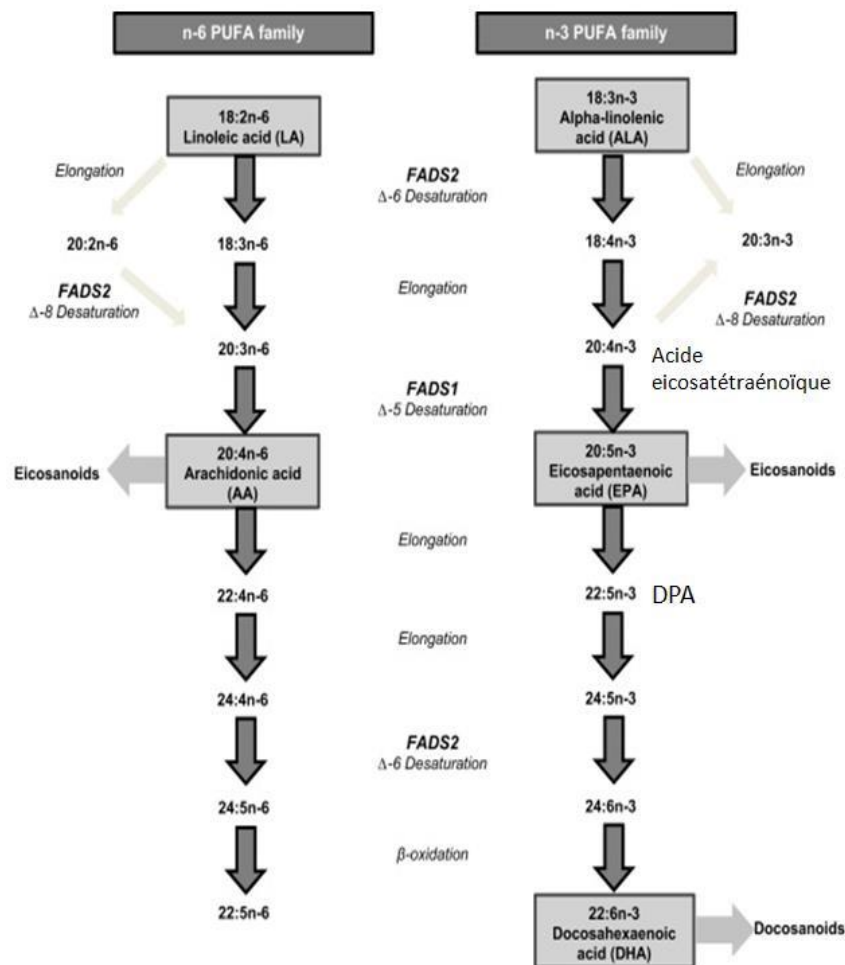


Figure n°38 : Les étapes d'élongation et de désaturation pour obtenir les différents AGPI
d'après Yeates et al. (321)

Dans nos sociétés occidentales, le ratio oméga alimentaire est en faveur des $\omega 6$. Les enzymes vont donc favoriser la production d'autres AG de la série $\omega 6$ par rapport aux $\omega 3$.

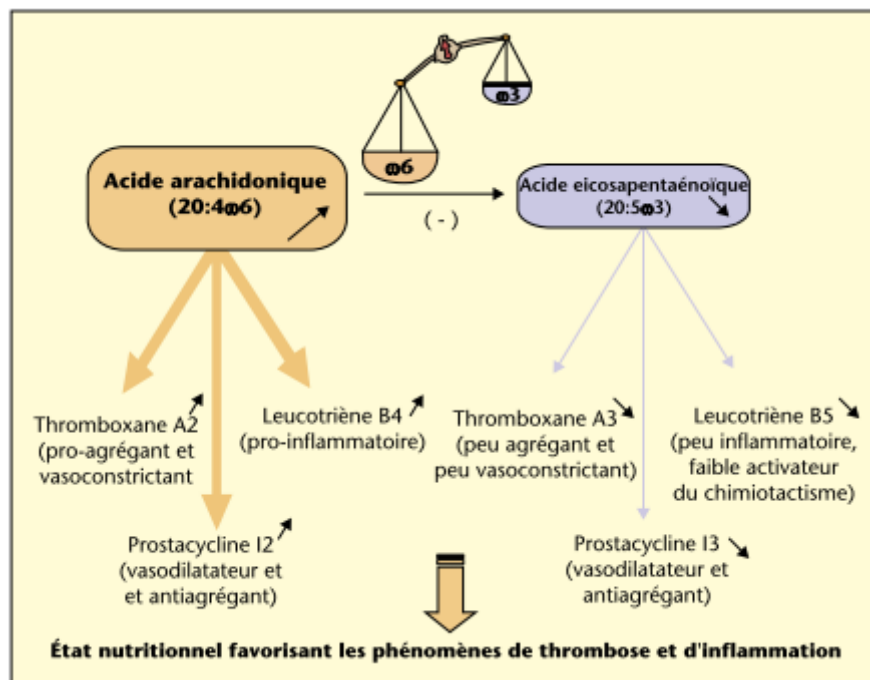


Figure n°39 : Les conséquences d'un apport trop important en acides gras $\omega 6$ par Guesnet Philippe et al. (138)

Ce déséquilibre va avoir plusieurs conséquences sur l'organisme et notamment des effets sur l'inflammation. Un apport conséquent en AG $\omega 6$ va augmenter la production des médiateurs issus de l'acide arachidonique. Les leucotriènes B4 vont favoriser l'inflammation alors que le thromboxane A2 va stimuler la vasoconstriction cf. le schéma ci-dessus.

D'où l'importance d'un apport équilibré et suffisamment important en ALA.

Rôle

Nous retrouvons les principales fonctions exercées par les AG sur la figure ci-dessous extraite de l'article « Les rôles physiologiques majeurs exercés par les acides gras polyinsaturés (AGPI) ».

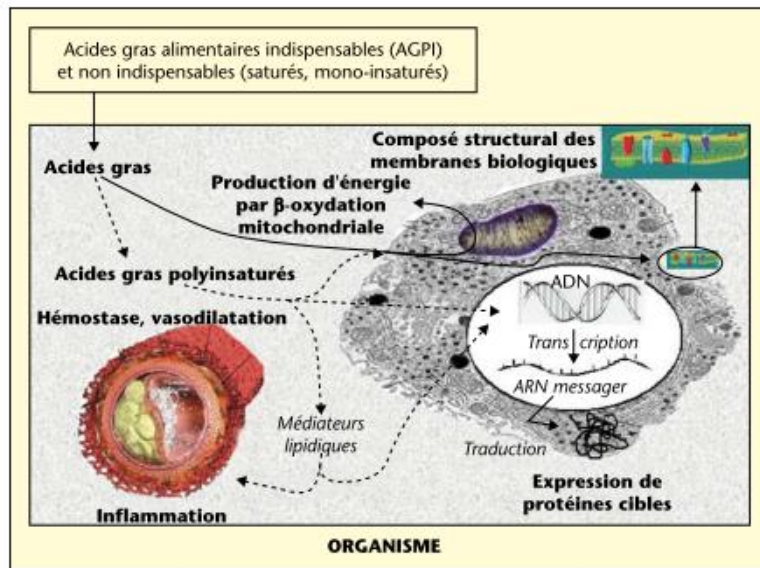


Figure n°40 : Principales fonctions exercées par les acides gras dans notre organisme
par Guesnet Philippe et al. (138)

Les AGPI ont plusieurs rôles dans l'organisme. Quand ils sont sous forme de phospholipides, ce sont des constituants des membranes biologiques. Ils vont permettre leur flexibilité et leur fluidité. Un phospholipide est constitué de deux acides gras et d'un phosphate.

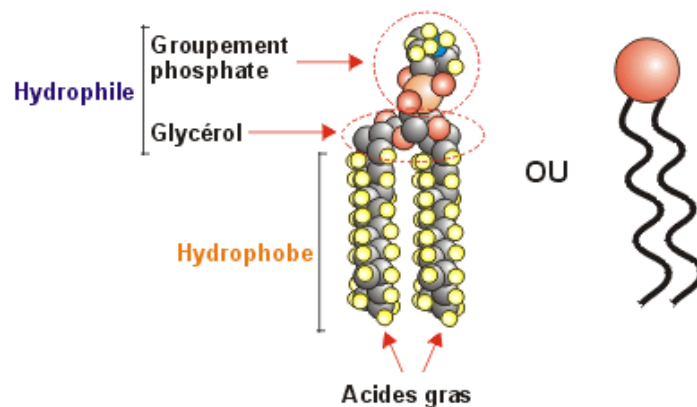


Figure n°41 : Représentation d'un phospholipide par Bourbonnais Gilles (57)

Un phospholipide possède une tête hydrophile et une queue hydrophobe. Ce sont des molécules amphiphiles qui forment des bicouches lipidiques. Il y a deux types de phospholipides : les glycérophospholipides et les sphingomyélines.

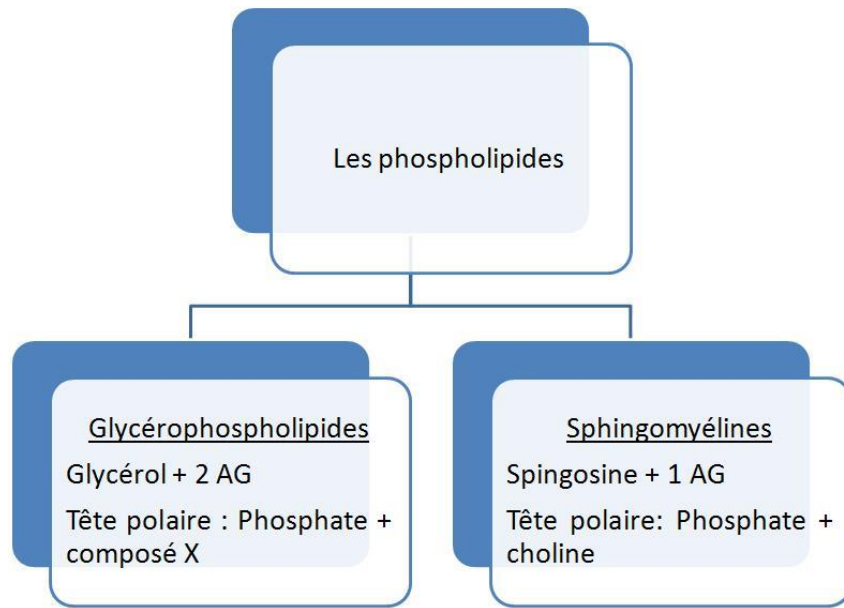


Figure n°42 : Les différents phospholipides

Les glycérophospholipides possèdent deux AG et du glycérol pour la partie apolaire et un alcool pour la partie polaire. En fonction de l'alcool qui se fixe sur l'acide phosphatidique (élément de base des glycérophospholipides), les classes obtenues sont différentes (cf. figure n°43).

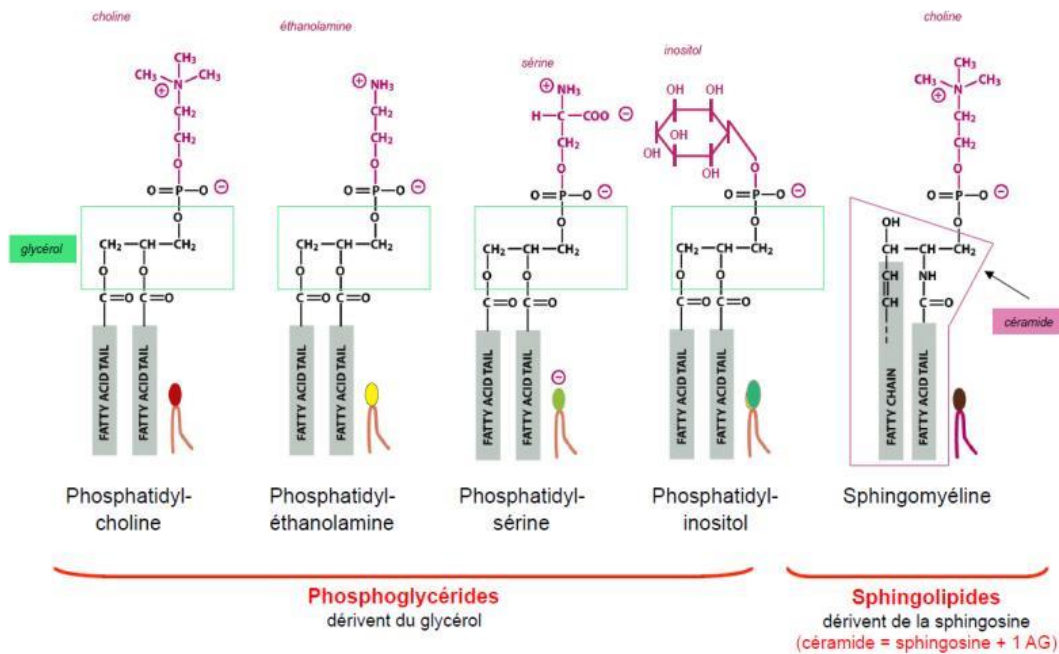


Figure n°43 : Représentation des phosphoglycérider et des sphingolipides par le tutorat santé de Tours (302)

Les sphingomyélines sont une association d'un AG et de sphingosine pour la partie apolaire et du phosphorylcholine pour la partie polaire.

Les membranes biologiques ne sont pas constituées seulement de lipides, il y a aussi des protéines et des glucides. Elles ont une structure fluide, celle-ci va dépendre de la nature de l'acide gras qui la compose (longueur de la chaîne, acides gras saturés ou non). Les acides gras saturés ont une conformation plus droite et rigide que les acides gras insaturés : la présence des doubles liaisons va favoriser les courbures et la fluidité.

Les AG vont être absorbés au niveau intestinal par les entérocytes pour être amenés aux tissus demandeurs (muscle, foie...) sous forme de lipoprotéines dans le sang (cf. figure n°44). Ils sont métabolisés par le foie pour être envoyés dans la totalité de l'organisme.

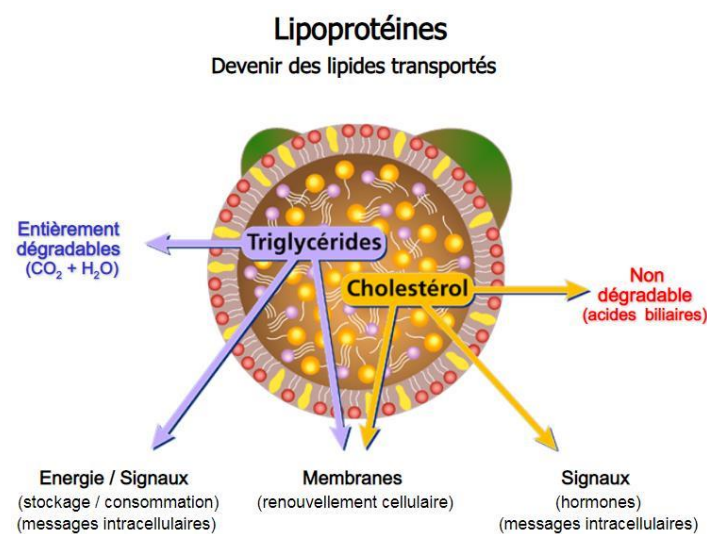


Figure n°44 : Le devenir des lipides transportés par les lipoprotéines par Morice Jules (215)

Après avoir vu les généralités sur les acides gras insaturés, nous allons présenter dans un premier temps quelques acides gras monoinsaturés puis dans un second temps quelques acides gras polyinsaturés.

(1) Acides gras monoinsaturés, AGMI

Dans la communauté scientifique internationale, la dénomination anglaise : MUFA pour *monounsaturated fatty acids* est souvent utilisée.

Nombre de carbone	Nom usuel	Nom IUPAC	Nomenclature physiologique
16	Acide palmitoléique	Acide 9Z-hexadécénoïque	C16:1 ω7
18	Acide oléique	Acide 9Z-octadécénoïque	C18:1 ω9
22	Acide érucique	Acide 13Z-docosaénoïque	C22:1 ω9
24	Acide nervonique	Acide 15Z-tétracosanoïque	C24:1 ω9

Tableau n°10 : Les acides gras monoinsaturés d'après Charbonnier Morgaine (68)

Leur chef de file est l'acide oléique (ω9).

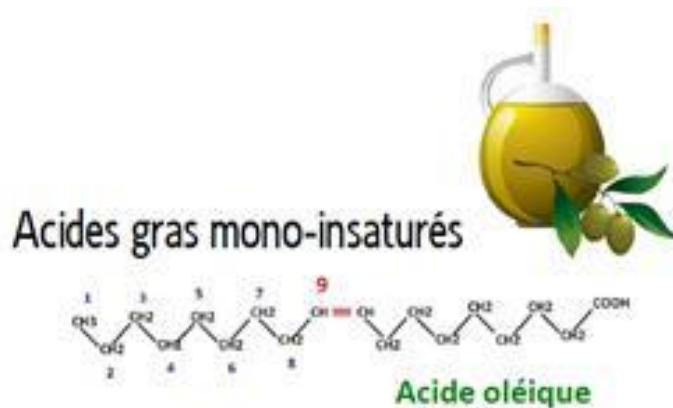


Figure n°45 : L'acide oléique par Denis Isabelle (INRA) (95)

Il est présent dans notre alimentation ou synthétisé par notre organisme grâce à la Δ9-désaturase. Cette enzyme peut former une double liaison sur l'acide palmitique ou sur l'acide stéarique pour former respectivement l'acide palmitoléique et l'acide oléique. L'acide oléique possède des propriétés adoucissantes, assouplissantes et nourrissantes pour la peau.

(2) Acide gras polyinsaturés, AGPI

Pour les acides gras polyinsaturés, il y aura la dénomination PUFA pour *polyunsaturated fatty acids*.

Nombre de carbone	Nom usuel	Abréviation en biochimie	Nom IUPAC	Nomenclature physiologique
18	Acide linoléique	AL	Acide 9Z,12Z-octadécadiénoïque	C18:2 ω6
18	Acide α-linolénique	ALA	Acide 9Z,12Z,15Z-octadécatriénoïque	C18:3 ω3
18	Acide γ-linolénique	AGL ou GLA	Acide 6Z,9Z,12Z-octadécatriénoïque	C18:3 ω6
20	Acide di-homo-γ-linolénique	DGLA	Acide 8Z,11Z,14Z-éicosatriénoïque	C20:3 ω6
20	Acide arachidonique	AA	Acide 5Z,8Z,11Z,14Z-éicosatétraénoïque	C20:4 ω6
20	Acide écosapentaénoïque	EPA	Acide 5Z,8Z,11Z,14Z,17Z-éicosapentaénoïque	C20:5 ω3
22	Acide docosahexaénoïque	DHA	Acide 4Z,7Z,10Z,13Z,16Z,19Z-docosahexaénoïque	C22:6 ω3

Tableau n°11 : Les acides gras polyinsaturés d'après Charbonnier Morgaine (68)

L'ANSES (28) distingue plusieurs types d'acides gras, les AG:

- « indispensables et conditionnellement indispensables qui constituent les acides gras essentiels (AGE)».
- « indispensables, nécessaires au développement et au bon fonctionnement du corps humain mais que notre corps ne sait pas fabriquer ».
- « conditionnellement indispensables, essentiels pour la croissance normale et les fonctions physiologiques des cellules mais qui peuvent être fabriqués à partir de leur précurseur s'il est apporté par l'alimentation. Ils sont donc rigoureusement requis si leur précurseur indispensable est absent ».
- « non indispensables ou bien non essentiels».

L'organisme humain ne sait pas fabriquer l'acide linoléique (LA) et l'acide α-linolénique (ALA), ils doivent être apportés par l'alimentation. C'est au début des années 60 que certains AG sont qualifiés d'indispensables après avoir constaté chez des personnes alimentées par voie parentérale avec des préparations sans lipides de nombreuses conséquences de type lésions cutanées, dessèchement de la peau, chute de poils.

Il y a deux grandes familles dans les acides gras polyinsaturés :

- Les AG ω 3 dont le précurseur est ALA (acide α -linoléique)
- Les AG ω 6 dont le chef de file est LA = AL (acide linoléique)

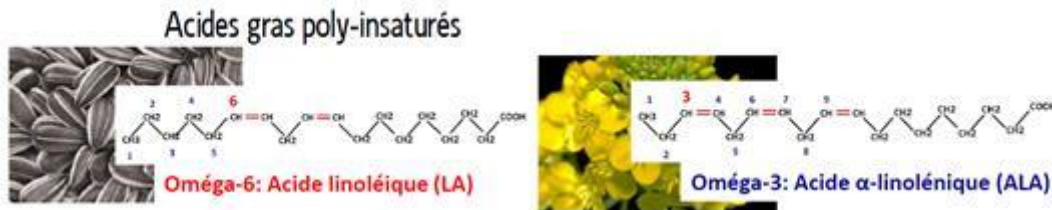


Figure n°46 : Les deux précurseurs des AGPI par Denis Isabelle (INRA) (95)

Rôle

Les AGPI à 20 atomes de C vont former, sous l'effet des cyclo-oxygénases, des prostaglandines, des thromboxanes et des prostacyclines. L'acide dihomolinoléique (DGLA), l'acide eicosapentaénoïque (EPA) et l'acide arachidonique (AA) vont être les éléments de base de leurs formations. L'EPA représente la série des AG ω 3 et l'acide arachidonique représente la série des AG ω 6.

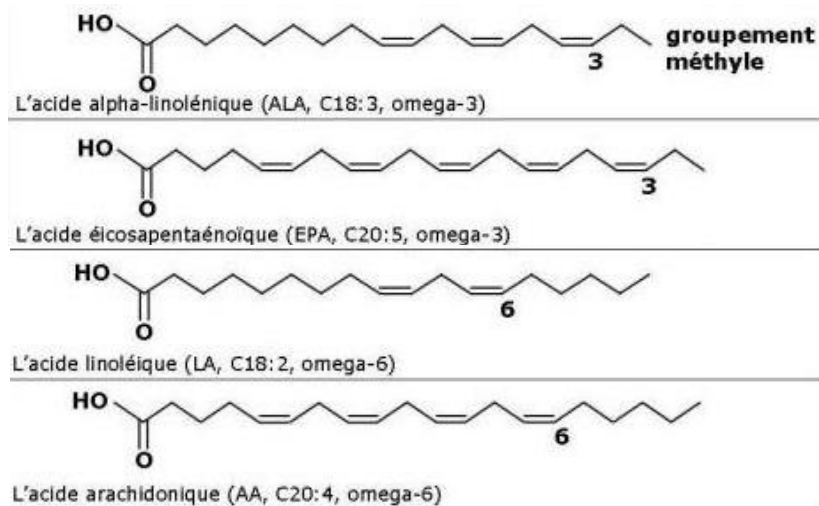


Figure n°47 : Représentation des principaux acides gras par Zediet (325)

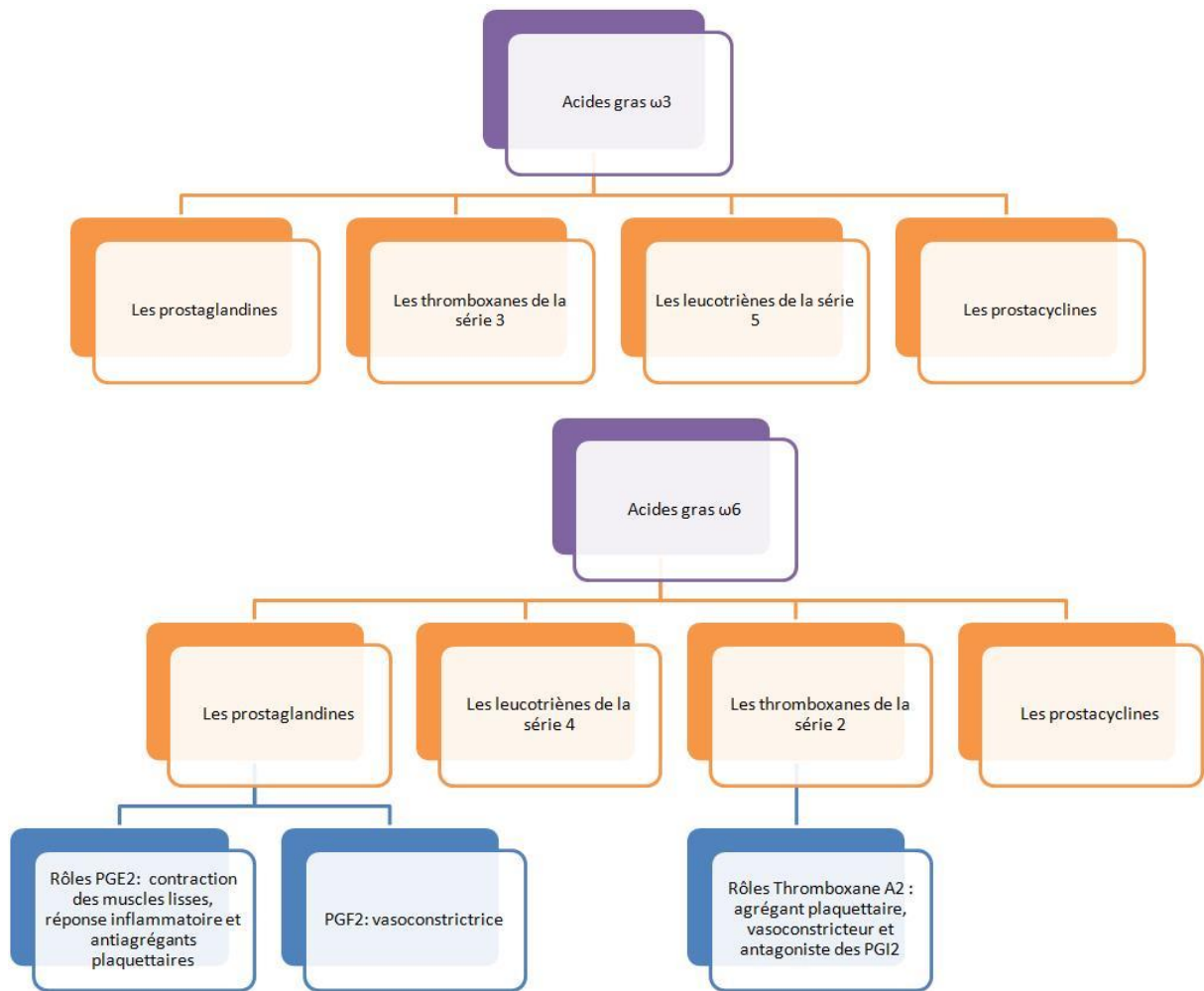


Figure n°48 : Production de molécules à partir des acides gras ω3 et des acides gras ω6

Une action pro-inflammatoire est associée à la série obtenue à partir des AG ω6 et une action anti-inflammatoire à la série obtenue à partir des AG ω3.

Les leucotriènes, les prostaglandines et les thromboxanes forment trois sous-familles des eicosanoïdes. Ce sont des hormones qui agissent à de très faibles concentrations.

La prostacycline (PGI₂), métabolite de l'AA, produite par les cellules endothéliales a un effet vasodilatateur sur les muscles lisses cardiaques et un effet antiagrégant pour les plaquettes. La régulation de l'agrégation plaquettaire et de l'hémostase est liée à la concentration de deux molécules : la PGI₂ vasodilatatrice et le TXA₂ vasoconstricteur. Les PG de la série 3 ont un effet antiagrégant plaquettaire et anti-inflammatoire. Les leucotriènes (LT) s'intéressent au système immunitaire en le modulant.

Les AGPI vont réguler un certain nombre de gènes. Leurs nombreux rôles sont réunis dans le tableau suivant extrait de la publication : actualisation des apports nutritionnels conseillés pour les AG de l'ANSES (24) qui date de 2011.

AGPI	Rôles physiologiques majeurs
Série n-6	
* Acide linoléique (18:2 n-6)	* AG indispensable, précurseur métabolique des AGPI n-6. Exerce des fonctions essentielles en tant que constituant majeur des lipides membranaires (rôle structural)
* Acide gamma-linolénique (18:3 n-6)	* Pas de fonction démontrée. Posséderait des propriétés anti-inflammatoires en provoquant l'accumulation de l'acide dihomo-gamma-linolénique et en limitant la synthèse d'acide arachidonique (Chilton <i>et al.</i> , 2008)
* Acide dihomo-gamma-linolénique (20:3 n-6)	* AG essentiel en tant que précurseur des prostanoides de la série 1 et des leucotriènes de la série 3
* Acide arachidonique (AA, 20:4 n-6)	* AG essentiel. Il exerce trois fonctions majeures spécifiques comme constituant ubiquitaire des lipides de structure, précurseur de médiateurs lipidiques (prostanoides de la série 2, leucotriènes de la série 4, AG hydroxylés (HETE, EET, lipoxines) et endocannabinoïdes) et régulateur de l'expression génique
* Acide adrénique (22:4 n-6)	* Pas de fonction démontrée
* Acide docosapentaénoïque (22:5 n-6)	* Synthétisé et incorporé dans les lipides membranaires en situation de carence alimentaire en AGPI n-3 (marqueur biologique spécifique)
Série n-3	
* Acide α -linoléique (18:3 n-3)	* AG indispensable en tant que précurseur métabolique des AGPI n-3
* Acide stéaridonique (18:4 n-3)	* Pas de fonction démontrée. Pourrait moduler la lipémie (réduction du taux de triglycérides circulants) en modulant l'expression des gènes de l'anabolisme lipidique au niveau du foie (Chilton <i>et al.</i> , 2008)
* Acide eicosapentaénoïque (EPA, 20:5 n-3)	* AG essentiel, précurseur de médiateurs lipidiques (prostanoides de la série 3, leucotriènes de la série 5, et AG hydroxylés (HETE, EET, lipoxines)) et régulateur de l'expression génique
* Acide docosapentaénoïque (DPA n-3, 22:5 n-3)	* Pas de fonction démontrée
* Acide docosahexaénoïque (DHA, 22:6 n-3)	* AG indispensable. Il exerce trois fonctions majeures spécifiques comme constituant ubiquitaire des lipides de structure du système nerveux central (rôle structural), précurseur de médiateurs lipidiques (docosanoïdes, endocannabinoïdes), et régulateur de l'expression génique (effet direct ou indirect par ses dérivés)

AGPI, acides gras polyinsaturés ; HETE, acides hydroxyeicosatétraénoïques ; EET, acides époxyeicosatriénoïques.

Tableau n°12 : Rôles physiologiques majeurs exercés par les AGPI n-6 et n-3 par l'ANSES dans son rapport : Actualisation des apports nutritionnels conseillés pour les AG (24)

L'illustration suivante résume les principales fonctions des AG ω 3 et des AG ω 6.

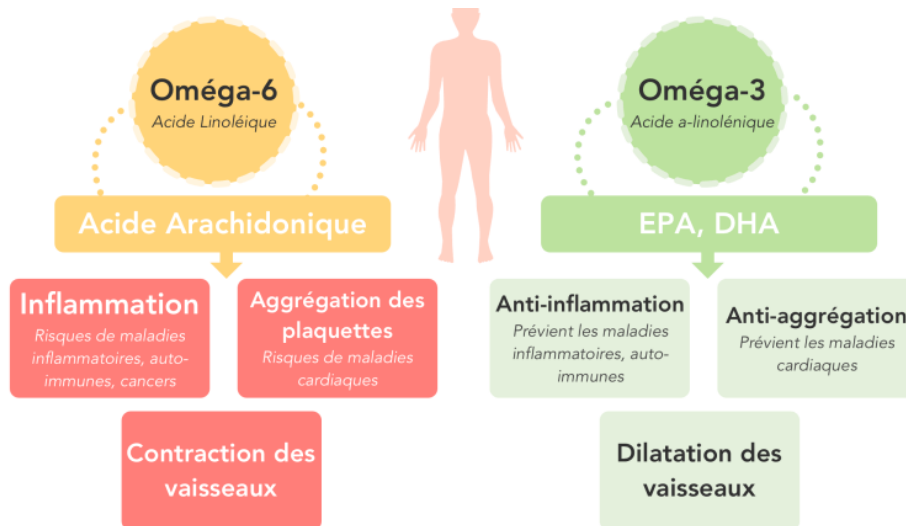


Figure n°49 : Les principales fonctions des acides gras $\omega 3$ et des acides gras $\omega 6$ par Joris (166)

Les AG $\omega 3$ protègent aussi de l'athérosclérose (via une action hypolipémiante, hypotriglycéridémiante et hypocholestérolémiante). L'EPA a plus un rôle dans la protection du cœur, des veines et des artères, un effet anti-inflammatoire et antiallergique. Le DHA est l'un des principaux constituants du cerveau et des neurones. La figure n°52 illustre la variété des rôles des AG $\omega 3$.

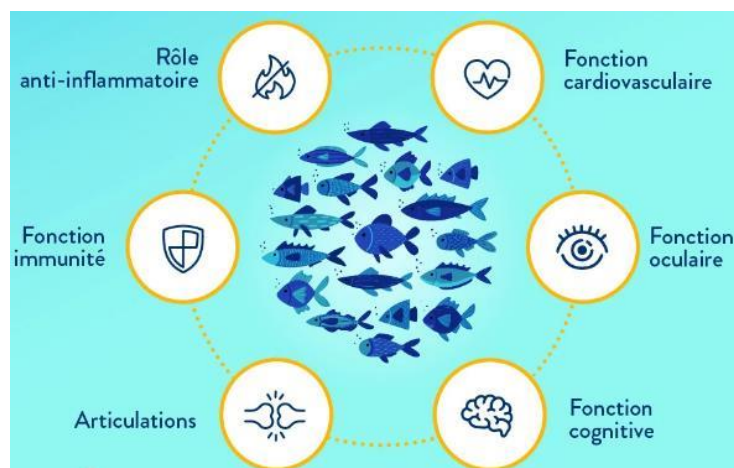


Figure n°50 : Les différents rôles des AG $\omega 3$ d'après Nutri & Co (226)

Le tableau ci-dessous traduit de l'article : « *Omega-3 fatty acids and metabolic syndrome: Effects and emerging mechanisms of action* » écrit par Poudyal *et al.* (239) de 2011 nous résume les réponses physiologiques qu'induisent les $\omega 3$ (ALA, EPA et DHA).

Facteur de risque	Réponse physiologique	
	ALA	EPA et DHA
Adiposité	Aucune	↓ l'adiposité viscérale ↑ la biogenèse mitochondriale et le métabolisme oxydatif
Dyslipidémie	↓ le cholestérol total ↓ LDL et TAG	↑ le cholestérol total, le HDL ↓ le TAG et l'activité de la lipase du TAG ↑ l'activité de la lipoprotéine lipase
Résistance à l'insuline	Les études chez les animaux semblent montrer une amélioration de la tolérance au glucose et de l'indice de résistance à l'insuline	
Hypertension	↓ la pression artérielle systolique	
Stress oxydatif	Pas de réduction des dommages oxydatifs mais augmentation du taux d'enzyme antioxydantes	
Inflammation	↓ des cytokines pro-inflammatoires et des métabolites de l'AA liés à la LOX/COX	

Tableau n°13 : Les réponses physiologiques induisent par l'ALA, l'EPA et le DHA d'après Poudyal et al. (239)

Cas particulier : les carences

D'ailleurs que se passe-t-il en cas de carence d'un AG comme le DHA (acide docosahexaénoïque) ? Le corps va remplacer le DHA (C22 :6 ω3) par une structure proche : le C22 :5 ω6, nommé l'acide d'Osbond. Ces deux molécules possèdent 22 C mais la double liaison en 19 est absente pour le C22 :5 ω6. Il est issu de l'élongation de l'AA. Ce changement aura des conséquences au niveau du cerveau avec des pertes de mémoire et des troubles de l'apprentissage. Au niveau de la rétine, il y aura une altération de l'acuité visuelle. La figure suivante nous montre les différents pourcentages d'AG dans le cortex et la rétine.

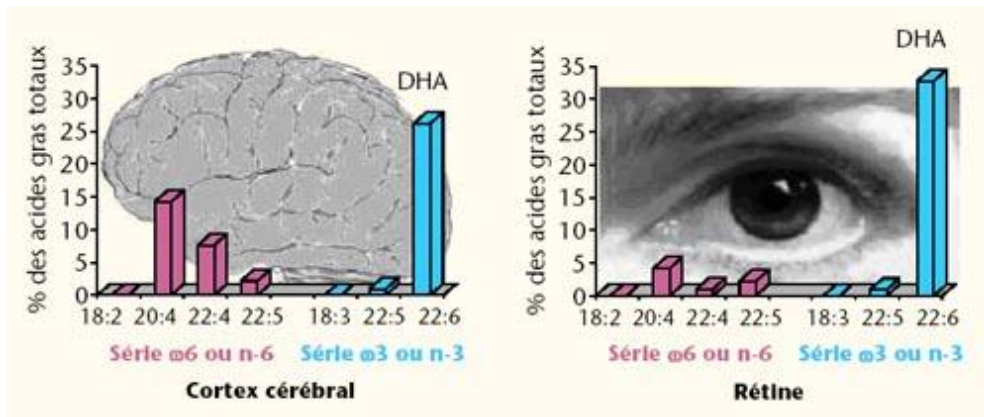


Figure n°51 : Les différents pourcentages d'AG dans le cortex cérébral et la rétine d'après Nutralica (225)

Parmi les autres conséquences possibles, il y en a une qui touche les nouveau-nés (prématurés et nés à terme) : lors d'une étude réalisée par Guesnet Philippe *et al.* (139), les chercheurs ont remarqué que ceux qui consommaient du lait infantile formulé avec de l'huile de maïs (pauvre en AG ω 3) avaient un retard de maturation des fonctions visuelles. La sensibilité des cellules photoréceptrices était mesurée par électrorétinographie et l'acuité visuelle à l'aide de réflexe visuel. Une nette diminution de la concentration en DHA dans les lipides sanguins et cérébraux a été remarquée. Les nouveau-nés nourris au sein ne présentaient pas ces problèmes (notamment visuels). Depuis, les laits infantiles ont une composition le plus proche possible du lait maternel. Cependant, la teneur en AGPI du lait maternel varie en fonction de l'alimentation de la femme. Le tableau ci-dessous décrit la composition moyenne d'un lait maternel français.

Acides gras	Pourcentage des AG totaux	Acides gras	Pourcentage des AG totaux
Acides gras saturés	45 – 49	Acides gras polyinsaturés n-6	12,5 – 15
8:0 (Acide caprylique) + 10:0 (Acide caprique) + 12:0 (Acide laurique)	7 – 10	18:2n-6 (Acide linoléique)	10,5 – 12,7
14:0 (Acide myristique)	6,5 – 9	20:4n-6 (Acide arachidonique)	0,36 – 0,45
16:0 (Acide palmitique)	22,5 – 24,5	Acides gras polyinsaturés n-3	1,11 – 1,36
Acides gras monoinsaturés	37 – 40	18:3n-3 (Acide α-linolénique)	0,72 – 0,95
18:1n-9 (Acide oléique)	27,5 – 30,5	22:6n-3 (Acide docosahexaénoïque)	0,19 – 0,29
Ratio 18:2n-6 / 18:3n-3	11,8 -14,6		

Tableau n°14 : Variations des teneurs moyennes des principaux AG du lait maternel en France par Guesnet Philippe et al. (139)

Les AGS représentent près de 50 % des AG totaux avec une prédominance de l'acide palmitique, les AGMI environ 40 %. Le rapport ω_6/ω_3 est intéressant (entre 11,8 et 14,6).

Les scientifiques se sont rendus compte qu'une supplémentation en ALA, AGPI ω_3 a permis d'éviter, notamment, l'apparition des problèmes visuels. La composition du lait maternel varie en fonction des pays mais aussi des périodes historiques. Aux Etats-Unis, les scientifiques se sont aperçus qu'entre les années 1950 et 1990, la quantité d'acide linoléique présent dans le lait maternel a été doublée (de 4 % à 8 %). La teneur en acide linoléique est passée de 7 % à plus de 15 % alors que la teneur en acide α -linoléique n'a pas évolué. Ceci a pour conséquence une modification de la valeur du rapport ω_6/ω_3 qui a atteint une valeur supérieure à 20.

La composition des laits infantiles est encore loin d'être parfaite. Il est recommandé de calculer leur teneur en AGPI-LC (Acides Gras Polyinsaturés à Longue Chaîne). Le docteur Bocquet (52) nous indique la formule : AGPI-LC = (ARA (ou DHA) en mg / lipides en g) /10. Les valeurs recommandées par jour par l'ANSES sont réunies dans le tableau suivant :

	AGE			AGPI-LC	
	ALA (ω 3)	AA (ω 6)	DHA (ω 3)	EPA + DHA (ω 3)	ARA (ω 6)
0 à 6 mois	0,45 % de l'apport énergétique	2,7 % de l'apport énergétique	0,32 % de l'apport énergétique	EPA < DHA	0,5 % des acides gras totaux
6 mois à 3 ans	0,45 % de l'apport énergétique	2,7 % de l'apport énergétique	70 mg	EPA < DHA	0,5 % des acides gras totaux

Tableau n°15 : Les valeurs recommandées par jour en AGE et en AGPI-LC d'après Bocquet (52)

Depuis le début des années 2000, la consommation en AG s'est améliorée et le déséquilibre semble diminuer. Ceci est à nuancer en fonction du ou des pays industrialisés. En France, une étude a été réalisée par Boué-Vaysse *et al.* (56) pour comparer la teneur de certains acides gras dans le lait maternel. Il a été collecté en France métropolitaine entre 1993 et 1998. Les résultats au niveau de la collecte de 2007 sont homogènes, il n'y a pas de différence significative entre les régions françaises. Puis l'équipe de Boué-Vaysse *et al.* (56) a comparé leurs résultats à ceux des six autres études effectuées en France durant la période 1993 à 1998. Le tableau ci-dessous nous montre l'évolution de la composition de certains AG.

Acides Gras	Composition moyenne 1993-1998	Composition en 2007	Evolution de la composition
LA	13.47	11,1	↓ de 17,6 %
ALA	0.57	0,83	↑ de 45 %
LA / ALA	24	13,5	↓ de 43,7 %

Tableau n°16 : Comparaison de la composition de certains acides gras dans le lait maternel en France en 1993-1998 par rapport à 2007 par Boué-Vaysse *et al.* (56)

La valeur du ratio est de nouveau dans les normes. Parmi les AGPI, il n'y a pas d'évolution pour la teneur en acide arachidonique ou en acide docosahexaénoïque. La conclusion est qu'il y a eu une évolution favorable de la composition du lait maternel.

(a) *Les Oméga 3*

Les principaux AG $\omega 3$ sont : l'acide α -linoléinique (ALA ou C18 :3 $\omega 3$), l'acide eicosapentanoïque (EPA ou C20 :5 $\omega 3$) et l'acide docosahexanoïque (DHA ou C22 :6 $\omega 3$). L'ALA participe à la formation des deux autres AG : l'EPA et le DHA.

Cas particulier : l'obésité

Les AGPI $\omega 3$ sont une des nombreuses pistes étudiées pour lutter contre l'obésité. L'*American Medical Association* a reconnu l'obésité comme une maladie et la considère comme un problème de santé publique majeur (36,5 % des adultes sont obèses aux Etats-Unis). En ce qui concerne la population mondiale, 39 % sont en surpoids et 13 % sont obèses. Le surpoids et l'obésité sont définis à l'aide de l'indice de masse corporelle (IMC).

$$\text{IMC} = (\text{Poids en kg}) / (\text{Taille en mètre})^2$$



Figure n°52 : L'IMC d'après Auxilium Médical (37)

Pour la France, l'étude Esteban (Etude de Santé sur l'Environnement, la Biorveillance, l'Activité physique et la Nutrition) nous donne les chiffres pour l'année 2015 (260).

	Surpoids	Obèses
Adultes	49 %	17,2 %
Enfants de 6 à 17 ans	16,9 %	3,9 %

Tableau n°17 : L'étude Esteban en France par Santé publique France (260)

Le but de l'étude de Garaulet *et al.* (127) de 2006 est d'évaluer la taille, le nombre de cellules adipeuses chez les personnes en surpoids / obèses avec la composition en AG du tissu adipeux. Ils ont testé différents tissus adipeux et notamment le tissu adipeux sous-cutané (hors de la cavité péritonéale, entre les muscles et la peau) et le tissu adipeux viscéral ou intra-abdominal (présent dans la cavité péritonéale). La graisse intra-abdominale a une proportion d'AGS plus importante que le tissu adipeux présent en sous-cutané. Les femmes de cette étude ont un pourcentage plus élevé de graisse corporelle, un tissu adipeux sous-cutané plus épais et souffrent d'obésité hyperplasique (nombre de cellules adipeuses plus élevés que la population classique). Les résultats indiquent une corrélation négative seulement dans le tissu adipeux omental (*cf.* figure n°54) entre le diamètre des adipocytes et la teneur en AGPI (plus le diamètre est grand, plus la teneur en AGPI est petite). Seul le dépôt sous-cutané semble être sensible à la régulation par les acides gras, il est nécessaire de poursuivre les études pour connaître notamment le rôle de l'expression des gènes.

Le tissu adipeux constitue le plus important réservoir énergétique de l'organisme et joue un rôle essentiel dans la régulation du métabolisme cellulaire. Il existe plusieurs types de tissu adipeux : blanc, brun et beige. Ils font partie d'un « organe endocrinien ». Les adipocytes blancs et bruns diffèrent de par leurs fonctions mais aussi de par leur structure cellulaire.

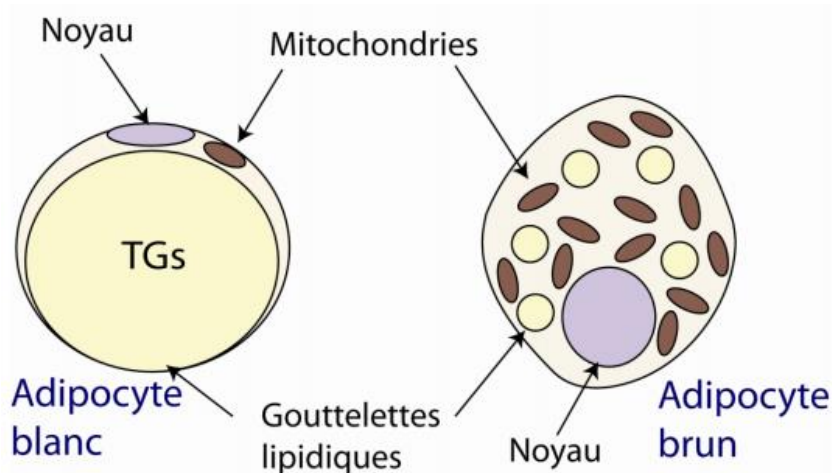


Figure n°53 : Structure cellulaire des adipocytes blancs et bruns d'après Jossart Christian (167)

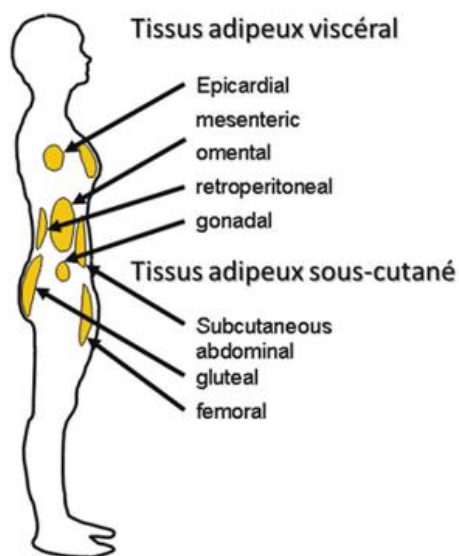


Figure n°54 : Localisation des différents dépôts de tissu adipeux blanc chez l'Homme d'après Giroud Maude (131)

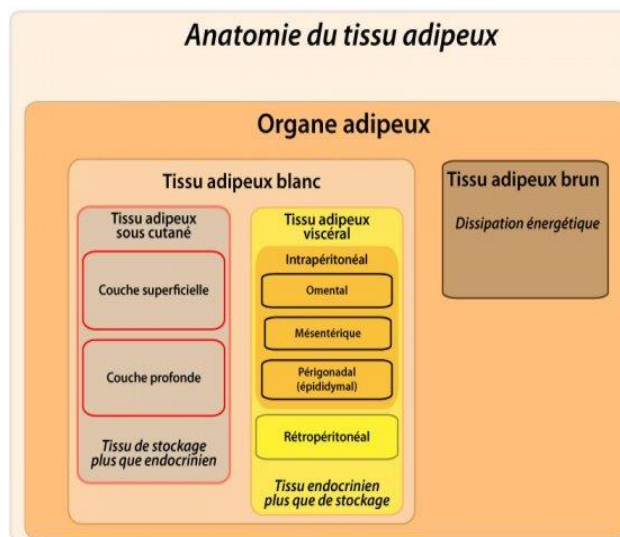


Figure n°55 : Les différents tissus adipeux d'après Ellero-Simatos Sandrine (108)

Le tissu adipeux blanc se situe au niveau sous-cutané et viscéral. Il a plusieurs rôles : stockage de l'énergie sous forme de triglycérides, rôle structural et sécrétion d'hormones comme la leptine (hormone de la satiété).

Le tissu adipeux brun est lié à la thermogénèse, il est logé au-dessus de la clavicule et de l'omoplate chez l'adulte. Son rôle va être de dégrader les lipides pour produire de la chaleur grâce aux mitochondries. Sa couleur brune est due aux très nombreuses mitochondries présentes dans son cytoplasme.

Le tissu adipeux beige ou « *brite* » pour « *Brown in white* » est un tissu adipeux blanc qui a obtenu les propriétés du tissu adipeux brun. Ceci peut avoir lieu lors d'une activité physique intense ou à cause du froid, par exemple.

L'obésité est due à l'expansion du tissu adipeux qui s'effectue par deux phénomènes : l'élargissement des adipocytes et l'augmentation de leur nombre par adipogenèse. Les AGPI ont un rôle dans la régulation des facteurs de transcription qui contrôlent les gènes qui permettent la différenciation préadipocytaire.

Dans un premier temps, de nombreuses études ont été réalisées chez les animaux. L'étude d'Albracht-Sculteet *al.* (19) nous indique que pour avoir des effets anti-obésité, il est nécessaire de nourrir les souris le plus tôt possible avec des AGPI $\omega 3$ et de ne pas attendre que l'obésité soit présente.

Dans un second temps, des études ont été menées chez l'homme. Les premières études réalisées se sont faites avec une supplémentation en AG $\omega 3$. Les résultats ne montrent aucun changement significatif au niveau du poids. D'autres scientifiques se sont orientés vers la combinaison d'une supplémentation avec une restriction calorique. Les résultats indiquent dans l'ensemble une perte de poids mais difficile à évaluer, chaque étude ayant sa propre méthode. En revanche, la perte de poids est plus importante avec un enrichissement en AG $\omega 3$ qu'avec une diminution de l'apport calorique seul.

L'adipogenèse fait intervenir la famille des récepteurs nucléaires d'hormones activés par les proliférateurs de peroxyosomes (PPAR *peroxisome proliferator-activated récepteur* ou récepteur activé par les proliférateurs de peroxyosomes).

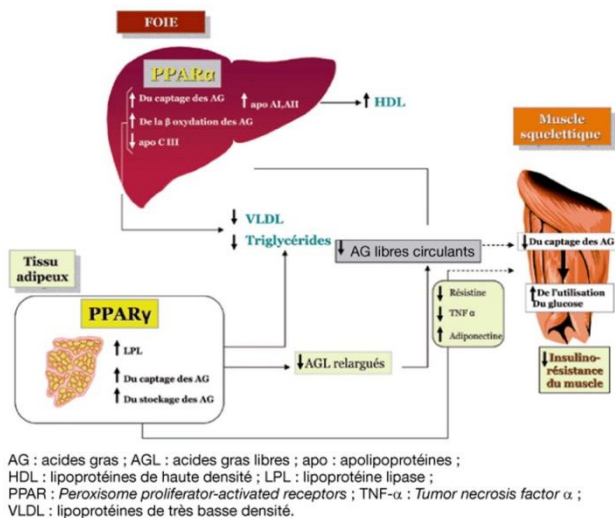


Figure n°56 : Les différents rôles des PPARS

par Skalli et al. (269)

Au niveau du tissu adipeux, la liaison de l'AA et ses métabolites aux récepteurs de la famille des PPAR entraîne une augmentation de l'expression de la lipoprotéine lipase (LPL) ce qui active l'hydrolyse des triglycérides des lipoprotéines plasmatiques. Ces PPAR jouent également un rôle dans le métabolisme des lipides et du glucose.

L'étude de Micallef *et al.* (209) a été réalisée chez des adultes en 2009. Les résultats nous montrent que l'IMC, le tour de taille et le tour de hanches sont inversement corrélés aux taux d'AGPI, d'EPA et de DHA mais seulement dans le groupe des personnes obèses. Ces personnes possèdent une concentration plasmatique d'AG ω 3 significativement inférieure à celle des sujets de poids normal. Un taux plasmatique plus élevé d'AGPI ω 3 a été associé à un meilleur IMC (état de santé général qui s'est amélioré), tour de taille et tour de hanches. Ceci est peut-être lié à une alimentation plus équilibrée.

Les travaux de Karlsson *et al.* (173) de 2006 se sont intéressés aux adolescents. Les chercheurs ont choisi des phospholipides sériques comme marqueurs du statut en AG. Les marqueurs vont permettre de refléter l'apport alimentaire sur les derniers mois. Au niveau des mesures corporelles, la circonférence de la taille et des hanches sont liées positivement aux dépôts graisseux, à l'IMC et à l'insuline sérique. Dans l'étude, les participants ont été séparés en fonction de leur sexe et de leur poids. Chez les adolescentes, la concentration en AG ω 3 était significativement plus faible chez les jeunes filles obèses tout comme la concentration en DHA (acide docosahexaénoïque) mais pas celle en AA (acide arachidonique), AGPI ω 6. Les adolescents obèses ont eux une concentration plus importante d'AGS (surtout en acide nervonique) et une concentration plus faible d'AGPI que les adolescents témoins. Pour connaître le véritable rôle des AG ω 3 dans l'obésité, il est nécessaire de poursuivre les études, leurs rôles semblent importants que ce soit au niveau du poids ou au niveau de l'adiposité. L'obésité, maladie qui continue à prendre de l'ampleur,

est un problème de santé publique. L'alimentation, plus précisément l'importance de l'apport en AGPI $\omega 3$, a une place primordiale dans la lutte contre l'obésité.

Sources

Parmi les huiles végétales à forte teneur en AGPI $\omega 3$, il y a l'huile de noix, de colza, de soja ou de germe de blé. La deuxième source d'AGPI $\omega 3$ est le poisson gras type maquereau, saumon, thon ou hareng. Le taux d'AG dans les poissons va varier en fonction des saisons, de la façon dont ils sont produits.... L'étude réalisée par Fuentes Ana *et al.* (126) en 2010 s'est intéressée à la différence de composition en AGPI entre un bar sauvage et un bar de culture (en Grèce et en Espagne). Les résultats les plus intéressants sont réunis dans le tableau suivant.

	Bars de culture Grèce	Bars de culture Espagne	Bars sauvages
Taux d'acides gras polyinsaturés	33,16	30,30	39,08
Taux d'acides gras monoinsaturés	36,47	36,32	23,54
Taux de LA (18:2 n6)	13,56 ± 1,52	9,91 ± 0,35	2,73 ± 0,06
Taux d'EPA (20:5 n3)	7,81 ± 0,85	9,26 ± 0,81	12,17 ± 0,13
Taux de DHA (22:6 n3)	8,33 ± 1,11	7,36 ± 0,26	16,62 ± 0,81
Ratio	1,09	1,43	3,27

*Tableau n°18 : Concentrations en AG des bars dans les élevages
(étude de Fuentes et al. (126) (g/100 g d'acides gras))*

La nourriture des bars de culture était similaire dans les deux exploitations. Le tableau nous montre une perte de la qualité nutritionnelle du bar de culture par rapport au bar sauvage. Ceci pour plusieurs raisons : le type de nourriture (souvent plus gras, tourteaux riches en $\omega 6$), une diminution de l'espace pour nager et donc de l'activité physique pour les bars d'élevage. Cette étude nous montre l'importance de l'origine du poisson acheté pour avoir une meilleure qualité nutritionnelle.

(b) Les Oméga 6

Les AG $\omega 6$ jouent aussi un rôle au niveau des vaisseaux sanguins, sur la fluidité du sang, sur la pression artérielle et sur les processus inflammatoires. On y trouve notamment l'acide linoléique (LA, C18 :2 $\omega 6$), l'acide gamma linoléique (AGL), l'acide dihomogamma linoléique (ADGL) et l'acide arachidonique (AA). Seul LA est un acide gras essentiel parmi les AG $\omega 6$. L'acide linoléique est un constituant de la membrane cellulaire : il permet de réguler sa perméabilité, il a un rôle dans la restructuration de l'épiderme et sur le contrôle de l'hydratation de la peau en limitant la perte d'eau. En petite quantité, il assure la cicatrisation et réduit les allergies, mais en grande quantité, il va favoriser le risque d'arthrite, d'eczéma et d'autres maladies auto-immunes. Il est retrouvé au niveau du jaune d'œuf et des graisses animales.

Parmi les huiles à forte teneur en AG $\omega 6$, l'huile de tournesol, de soja ou de pépins de raisin peuvent être citées.

(c) Ratio Oméga 6 / Oméga 3

Le rapport ou ratio $\omega 6/\omega 3$ a évolué au cours de l'histoire. Dans le passé, il était plutôt en faveur des AG $\omega 3$ mais aujourd'hui, c'est plutôt l'inverse. Le rapport est un indicateur d'un type d'alimentation. Les scientifiques parlent soit d'un rapport $\omega 6/\omega 3$ ou du ratio des deux précurseurs : acide linoléique / acide α -linoléique (LA/ALA). En plus du ratio, il est important de consommer 500 mg de DHA + EPA par jour. La valeur du ratio recommandé évolue, la dernière modification de l'ANSES l'a passé d'une valeur de 5 à 4.

Le tableau suivant concerne les apports conseillés en AG qui ont été définis en 2010 par l'ANSES. Une des colonnes concerne les enfants de 3 à 9 ans et l'autre les individus, de 10 ans et plus. Le contenu de chaque colonne est identique mis à part la ligne concernant les apports conseillés en AGPI-LC $\omega 3$, ceux de la seconde tranche d'âge valent le double de celle des plus jeunes.

ANC en mg ou % de l'AESA	Enfants (3 à 9 ans)	Adolescents et adultes (10 ans et plus)
Lipides totaux	35 – 40 %	35 – 40 %
Acides laurique + myristique + palmitique	< ou = à 8 %	< ou = à 8 %
Acide oléique	15 – 20 %	15 – 20 %
LA	4 %	4 %
ALA	1 %	1 %
Ratio LA / ALA	< 4	< 4
DHA	125 mg	250 mg
EPA + DHA	250 mg	500 mg

Tableau n°19 : Apports nutritionnels conseillés en acide gras définis par l'ANSES (23)

L'ANSES a publié en mai 2011 son avis sur les apports conseillés des acides gras ω 3 (ALA, DHA et EPA) (24). Le ratio ω 6/ ω 3 ne doit pas dépasser 5 or, avec une alimentation de type occidental, il est plus souvent proche de 10, c'est-à-dire que la consommation recommandée est doublée. L'ANSES dans son rapport de septembre 2015 (Apports en acides gras de la population vivant en France et comparaison aux apports nutritionnels conseillés définis en 2010 (23)) nous donne les données de consommation pour les individus entre 3 et 79 ans. Les données proviennent de l'étude INCA2 (Individuelles Nationales des Consommations Alimentaires) effectuée en 2006-2007 en France avec 1 455 enfants entre 3 et 17 ans et 2 624 adultes entre 18 et 79 ans. L'INCA3 (26) a été réalisée en 2014-2015 auprès de 3 157 adultes (de 18 à 79 ans) et 2 698 enfants (de 0 à 17 ans). La nouveauté par rapport à INCA2 est la prise en considération des enfants de 0 à 3 ans.

Les trois tableaux disponibles en Annexe n°1 représentent respectivement les apports journaliers moyens en énergie, macronutriments et acides gras des enfants entre 0 et 10 ans, des enfants entre 11 et 17 ans et des adultes de 18 à 79 ans. L'étude INCA 3 ne s'est pas intéressée au rapport LA/ALA, nous allons donc garder les valeurs d'INCA2. L'apport en lipides dans notre alimentation doit être entre 35-40 % des apports totaux en énergie. L'étude INCA 2 nous indique que l'apport chez les enfants est de 37,3 % et de 37,96 % chez les adultes. Cet apport général en lipides est donc dans la fourchette.

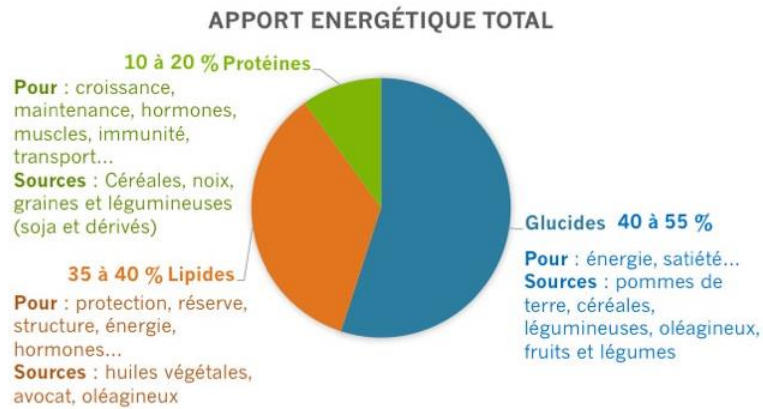


Figure n°57 : Apport énergétique total en pourcentage et sources végétales d'après Poiraud Jérôme (238)

Le rapport de 2015 a gardé le terme ANC (Apport Nutritionnel Conseillé) et AESA (Apport Energétique total Sans Alcool). L'apport nutritionnel conseillé est la valeur qui permet de couvrir les besoins dans 97,5 % des individus d'une population. Ici, la signification réelle n'est pas possible, c'est plus un apport idéal à atteindre.

Dans son rapport relatif à l'actualisation des repères du PNNS (Programme National Nutrition Santé) de 2016 (25), l'ANSES a introduit des nouvelles dénominations. La première est le RNP (Référence Nutritionnelle pour la Population). Elle a été préalablement définie comme « l'apport qui couvre le besoin de presque toute la population considérée, tel qu'estimé à partir des données expérimentales ». Actualisée depuis il est précisé que la RNP est égale à 1,3 fois le BNM (Besoin Nutritionnel Moyen). Si les données ne sont pas suffisantes ou satisfaisantes pour le calcul du BNM et du RNP, l'AS (Apport Satisfaisant) sera utilisé. Il correspond à l'apport moyen d'une population ou d'un sous-groupe pour lequel le statut nutritionnel est jugé satisfaisant. L'AS s'utilise lorsque les connaissances actuelles ne permettent pas de calculer précisément une RNP pour un nutriment donné. C'est un apport pour lequel aucun effet négatif de surdosage ou de carence au sein d'une population en bonne santé n'est observé. Un autre terme a été introduit qui est spécifique aux macronutriments énergétiques et qui est exprimé en pourcentage de l'apport énergétique total, il s'agit de l'intervalle de référence (IR). C'est l'intervalle d'apports considérés comme satisfaisant pour le maintien de la population en bonne santé.

Nous allons maintenant voir les apports en LA, ALA et le ratio entre les deux chez les enfants puis chez les adultes. Chez les enfants de 3 à 17 ans, le tableau suivant représente les apports moyens en acide linoléique (LA, $\omega 6$) et en acide α -linoléique (ALA, $\omega 3$).

sous-population	n	Acide linoléique (LA)			Acide α -linoléique (ALA)			Ratio LA / ALA sans unité		
		Moy.	ET	Test [§]	Moy.	ET	Test [§]	Moy.	ET	Test [§]
échantillon total enfants (g)	1455	7,24	3,65	.	0,77	0,34	.	9,84	4,67	
échantillon total enfants (%AESAs)	1455	3,61	1,50	.	0,39	0,13	.			
garçons (g)	688	7,63	3,94	**	0,82	0,37	***	9,93	5,29	NS
filles (g)	767	6,82	3,32		0,73	0,30		9,74	4,04	
garçons (%AESAs)	688	3,54	1,56	NS	0,38	0,13	NS			
filles (%AESAs)	767	3,67	1,44		0,39	0,12				
3-9 ans (g)	482	6,75	4,04	**	0,73	0,39	***	9,86	6,42	NS
10-17 ans (g)	973	7,63	3,39		0,81	0,31		9,82	3,50	
3-9 ans (%AESAs)	482	3,63	1,81	NS	0,39	0,16	NS			
10-17 ans (%AESAs)	973	3,59	1,32		0,38	0,11				

AESA : apport énergétique sans alcool

[§]Test : comparaison des moyennes d'apports (en g et %AESAs) entre les sexes et entre les classes d'âges.

NS : non significatif ; * p<0,05 ; ** p<0,01 et *** p<0,001

Tableau n°20 : Apports quotidiens moyens en acide linoléique (LA), en α -linoléique (ALA) et ratio LA/ALA des enfants de 3 à 17 ans en France (23)

Le ratio est proche de 10 alors que la recommandation lors de l'étude est de 5. Le ratio est un peu plus élevé chez les enfants entre 3 et 9 ans que chez le groupe entre 10 et 17 ans (9,86 *versus* 9,82). Ceci peut paraître étonnant car chez le premier groupe, ce sont les parents qui décident de ce que mangent les enfants. Un adolescent, lui va plus choisir son repas et pourtant son alimentation concernant le rapport est plus adaptée. Il est donc nécessaire de revoir avec les parents, les sources d'AG à privilégier et celles à éviter.

Le prochain tableau concerne cette fois-ci les adultes.

sous-population	n	Acide linoléique (LA)			Acide α -linoléique (ALA)			Ratio LA / ALA sans unité		
		Moy.	ET	Test [§]	Moy.	ET	Test [§]	Moy.	ET	Test [§]
échantillon total adultes (g)	2624	8,62	4,43	.	0,93	0,44	.	9,74	4,60	.
échantillon total adultes (%AESAs)	2624	3,96	1,72	.	0,43	0,16	.			
hommes (g)	1087	9,30	4,99	***	1,01	0,50	***	9,63	4,38	NS
femmes (g)	1537	7,98	3,89		0,86	0,37		9,84	4,75	
hommes (% AESAs)	1087	3,80	1,85	***	0,41	0,16	***			
femmes (% AESAs)	1537	4,11	1,61		0,45	0,16				
18-34 ans (g)	689	8,04	4,04	***	0,85	0,39	***	10,00	4,78	NS
35-54 ans (g)	1137	8,60	4,12		0,92	0,37		9,63	3,84	
55-79 ans (g)	798	9,20	5,06		1,03	0,53		9,62	5,38	
18-34 ans (% AESAs)	689	3,72	1,54	***	0,39	0,13	***			
35-54 ans (% AESAs)	1137	3,92	1,51		0,42	0,13				
55-79 ans (% AESAs)	798	4,24	2,08		0,47	0,20				

AESA : apport énergétique sans alcool

[§]Test : comparaison des moyennes d'apports (en g et %AESAs) entre les sexes et entre les classes d'âges.

NS : non significatif ; * p<0,05 ; ** p<0,01 et *** p<0,001

Tableau n°21 : Apports quotidiens moyens en acide linoléique (LA), en α -linoléique (ALA) et ratio LA/ALA des adultes de 18 à 79 ans en France (23)

Pour les adultes, le ratio LA/ALA est également près du double de la valeur recommandée.

Il est important de revoir l'alimentation pour diminuer les apports en acide linoléique et augmenter les apports en acide α -linoléique pour l'ensemble de la population.

Le tableau ci-dessous nous indique la proportion de sujets à risque d'insuffisance d'apports en LA et ALA, et comparaison du ratio LA/ALA par rapport aux ANC de 2010 chez les adultes de 18 à 79 ans en France.

Comparaison des apports en acides linoléique (LA) et α -linoléique (ALA), et du ratio LA/ALA aux ANC 2010		LA : Apport inférieur à 4 %AESA				ALA : Apport inférieur à 1 %AESA				Ratio LA/ALA supérieur ou égal à 5			
sous-population	n	%	IC95 %		Test [§]	%	IC95 %		Test [§]	%	IC95 %		Test [§]
échantillon total adultes	2624	63,14	61,11	65,17	.	99,06	98,73	99,39	.	97,22	96,53	97,91	.
hommes	1087	68,32	65,26	71,38	***	99,21	98,70	99,73	NS	97,99	97,04	98,95	NS
femmes	1537	58,25	55,63	60,87		98,91	98,47	99,35		96,49	95,41	97,57	
18-34 ans	689	67,69	63,20	72,18		100,00	100,00	100,00		98,18	96,81	99,55	
35-54 ans	1137	65,48	62,52	68,43	***	99,51	99,20	99,81	***	97,80	97,12	98,49	**
55-79 ans	798	56,04	52,02	60,07		97,63	96,61	98,66		95,62	94,23	97,00	

AESA : apport énergétique sans alcool
[§]Test : comparaison des proportions de sujets entre les sexes et entre les classes d'âges.
 NS : non significatif ; * p<0,05 ; ** p<0,01 et *** p<0,001

Tableau n°22 : Proportion de sujets à risque d'insuffisance d'apports en LA et ALA, et comparaison du ratio LA/ALA par rapport aux ANC de 2010 chez les adultes de 18 à 79 ans en France (23)

Chez les adultes, 63 % des personnes ont un risque d'insuffisance en LA et pour l'ALA, cela atteint 99 %. Le rapport LA/ALA est supérieur à 5 pour 97 % des adultes (un peu moins que chez les enfants).

Une étude de Nguyen (223) de 2017 publiée dans le *Breast Cancer Research* a été réalisée sur des souris durant le deuxième trimestre de gestation. Une partie de l'échantillon est soumis à un régime riche en huile de maïs (riche en ω 6) et l'autre à un régime plus équilibré, avec le même nombre de calories. La première et la deuxième générations de souris du premier groupe ont présenté un risque de cancer élevé, une plus grande résistance aux traitements anticancéreux et une immunité moins efficace. Les scientifiques ont aussi remarqué trois fois plus de changements génétiques, au niveau des tissus mammaires, chez la troisième génération par rapport à la première. Les chercheurs en ont conclu qu'un régime trop riche en graisses polyinsaturés de type AG ω 6 pendant la grossesse augmenterait le risque de cancer du sein pour les générations futures. Ils conseillent aux

femmes enceintes de faire attention au ratio LA/ALA et de favoriser les AG ω 3. Cette nouvelle alimentation mise en place pour la grossesse pourra être continué après et sera bénéfique pour la santé de la femme.

3. Les insaponifiables

Ils varient dans la composition des huiles végétales, de 0,5 à 2 %. On y retrouve les vitamines, les protéines, les cires, les hydrocarbures, les phytostérols (entre 0,1 et 0,5 %), les pigments comme les caroténoïdes... La figure suivante présente les principales familles de pigments végétaux, avec des pigments hydrosolubles (les flavonoïdes par exemple) et des pigments liposolubles comme les chlorophylles ou les caroténoïdes.

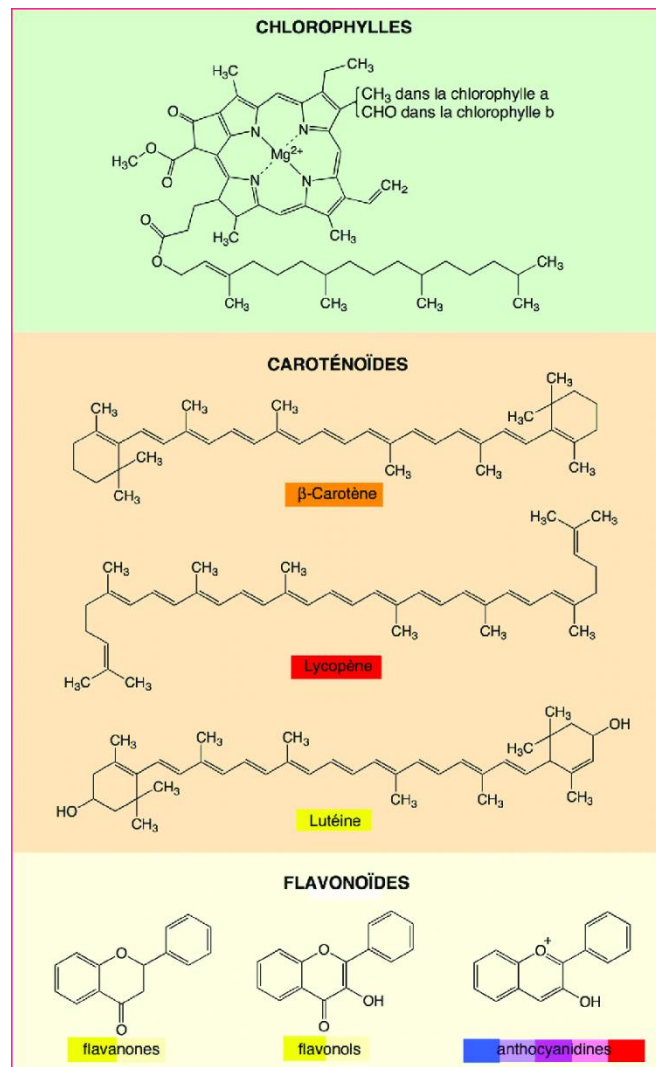
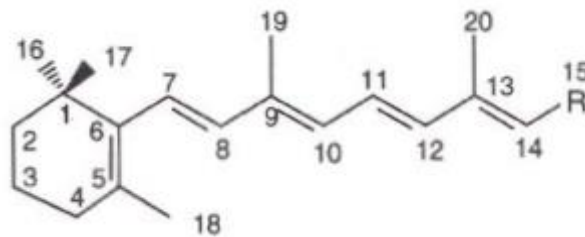


Figure n°58 : Quelques pigments végétaux d'après Renoult Julien (249)

a) Les vitamines

Les vitamines A, D, E et K sont liposolubles. Les huiles sont une source importante de vitamine E (= tocophérol). Elle protège la membrane cellulaire des UVB et a des propriétés antioxydantes (d'où une utilisation pour prévenir le vieillissement cutané).

Les vitamines A sont composées du rétinol libre, estérifié et de ses métabolites. La vitamine A (ou axérophthol) lutte contre la dégénérescence maculaire. Elle permet d'éliminer les tissus abîmés et d'en reconstruire des nouveaux. Elle a surtout un rôle important au niveau des yeux (constituant essentiel des pigments de la rétine, empêchant le dessèchement de la cornée) et régule l'expression du génome. Elle favorise la croissance des os et des dents.



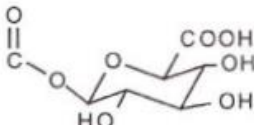
	R*	Appellations communes	DCI**
1	CH ₂ OH	vitamine A alcool ou axérophthol ou vitamine A ₁	rétinol
3	CHO	vitamine A aldéhyde ou rétinène ou rétinal	
4	COOH	vitamine A ₁ acide ou acide rétinéique (AR)	trétinoïne
5	CH ₂ OCOCH ₃	vitamine A acétate ou acétate de rétinyle	
6	CH ₂ OCOCH ₂ CH ₃	vitamine A propionate ou propionate de rétinyle	
7	CH ₂ OCO (CH ₂) ₁₄ CH ₃	vitamine A palmitate ou palmitate de rétinyle	
8		β-glucuronide de la vitamine A acide ou acide 1-0-rétinoyl-β-D- glucopyranuronique	

Figure n°59 : La vitamine A et ses dérivés par Voisin-Chiret (313)

Les vitamines D régulent l'absorption du calcium, du phosphore et participent à leur fixation. Elles sont présentes sous deux formes : la vitamine D2 ou ergocalciférol produite par les végétaux et la vitamine D3 ou cholécalciférol d'origine

animale. L'homme est capable de la synthétiser *via* les cellules profondes de l'épiderme en présence de soleil (rayonnement ultraviolet). Elle subira une conversion en 1,25-dihydroxyvitamine D pour pouvoir garantir la minéralisation des tissus (os, cartilage et dents). Son autre rôle est avec l'hormone parathyroïdienne de maintenir l'homéostasie calcique. Les besoins sont couverts à 70 % par la synthèse cutanée et à 30 % par les apports alimentaires.

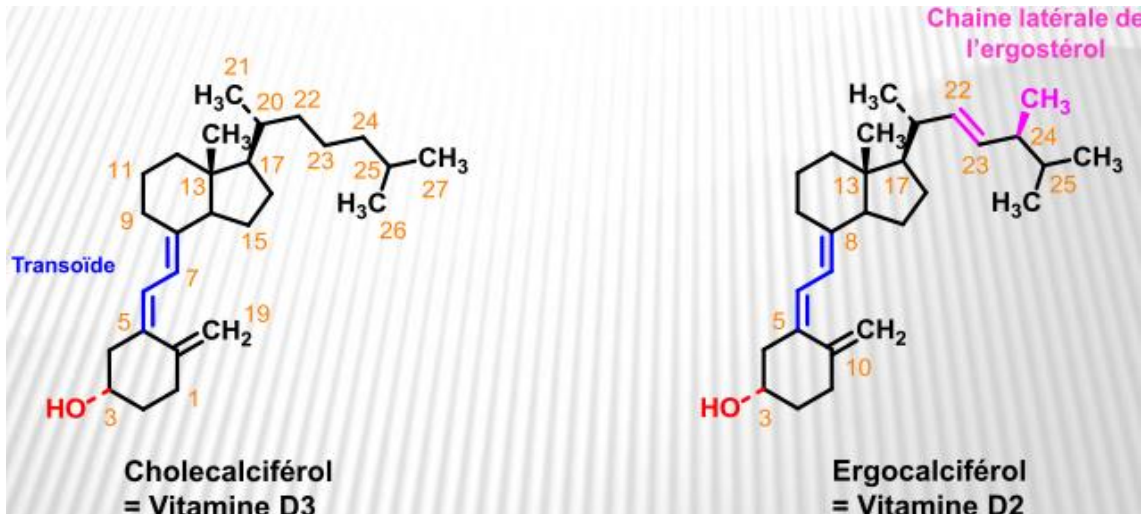


Figure n° 60 : La vitamine D2 et D3 par Voisin-Chiret (313)

Les vitamines E regroupent les tocophérols et les tocotriénols.

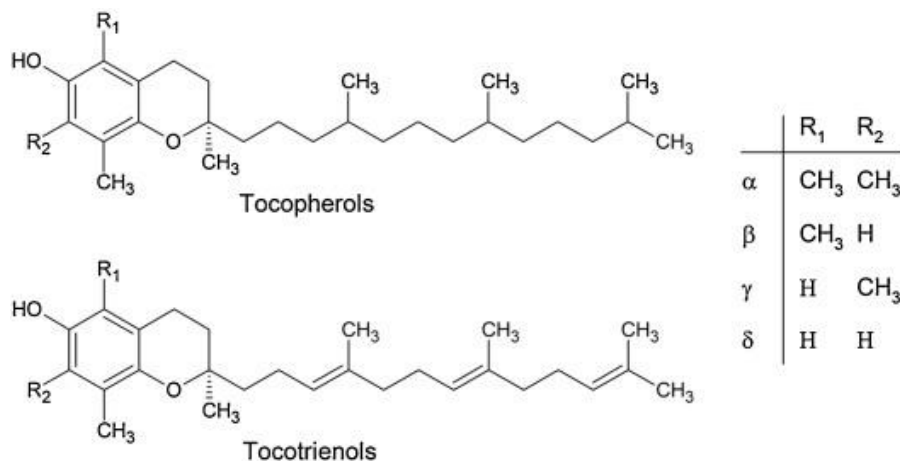


Figure n°61 : Les tocophérols et les tocotriénols par Bartosinska E et al. (40)

Le tocophérol a plusieurs formes : la forme α (forme la plus active), β, γ et δ. Les tocotriénols comportent les quatre mêmes formes. Ils ont de multiples rôles comme celui de participer à la nutrition des cellules nerveuses, de réguler les phénomènes de la coagulation ou d'accroître la résistance capillaire. La vitamine E va protéger la membrane de nombreuses

cellules indispensables au bon fonctionnement du système immunitaire (globules rouges, globules blancs). La vitamine E a un rôle d'antioxydant très important et reconnu. L'apport satisfaisant en 2016, d'après l'ANSES (25) en vitamine E est de 10,5 mg/jour pour un homme de plus de 18 ans et de 9,9 mg/jour pour une femme adulte. L'apport journalier recommandé est de 12 mg. Certaines huiles végétales peuvent être qualifiée de « riche » en vitamine E (30 % des AJR pour 100 g). Comme vu précédemment, la quantité de micronutriments (phytostérols, tocophérols) va dépendre du procédé de fabrication. Il est donc important de développer de nouvelles techniques qui permettent de garder de hautes teneurs en micronutriments. D'après une étude de Tasan *et al.* (280) qui date de 2011, les huiles obtenues avec une simple pré-pression contiennent 26,4 % de vitamine E en plus qu'avec un procédé de cuisson ou de pression classique. D'après Regis *et al.* (246) en 2016, le raffinage et plus particulièrement la désodorisation entraînent une perte de plus de 20 % de tocophérols quelle que soit l'huile.

Les vitamines K agissent sur la coagulation. Les facteurs vitaminiques sont antihémorragiques (sécrétion favorisée de prothrombine au niveau du foie).

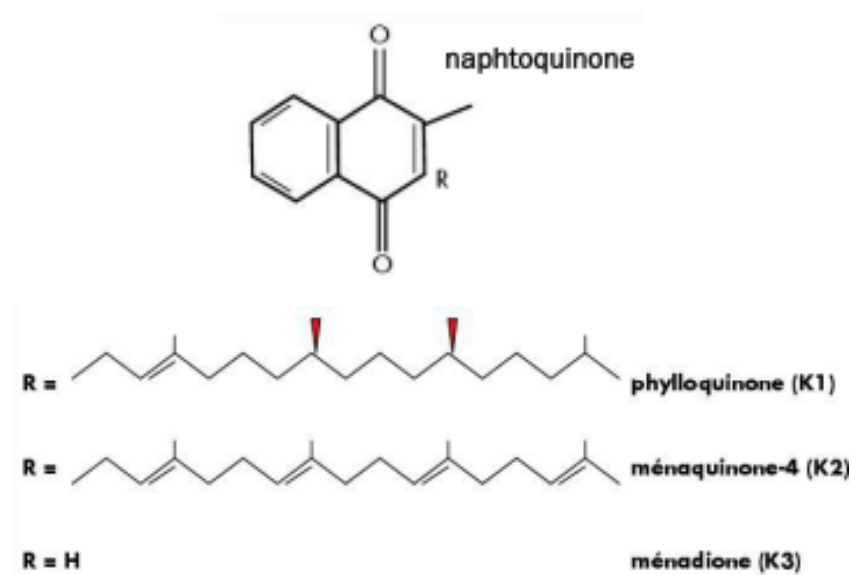


Figure n°62 : Les vitamines K par Voisin-Chiret (313)

b) Les phytostérols

Les stérols sont des alcools triterpéniques tétracycliques localisés dans la partie lipidique de nombreux végétaux tels que les graines de colza (6 063 mg/kg) ou de tournesol (1 465 mg/kg).

Les phytostérols sont des lipides végétaux qui ont une structure proche du cholestérol. Le cholestérol est absent chez les plantes. Les changements se font essentiellement au niveau de la chaîne latérale en C24 et du positionnement (ou de la configuration) des doubles liaisons. Il en existe plus de 200 différents mais leur absorption est inférieure à 2 % (1,9 % pour le campestérol, 0,5 % pour le sitostérol d'après l'article d'A. Trauywein et Demonty (2)) alors qu'elle est entre 30 et 60 % pour le cholestérol. Plusieurs phytostérols et le cholestérol sont représentés sur la figure n°65.

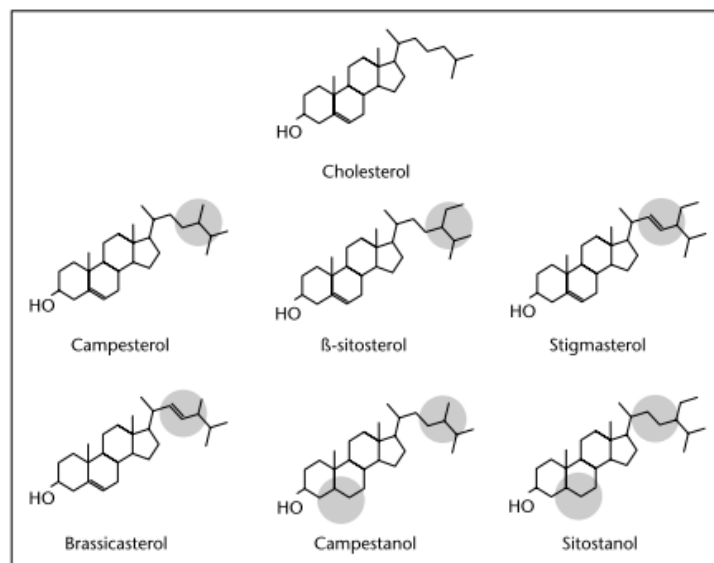


Figure n°63 : Représentation du cholestérol et des principaux phytostérols d'après A. Trautwein et Demonty (2)

Les animaux et les hommes ne peuvent pas synthétiser les phytostérols, il est donc indispensable qu'ils soient apportés par l'alimentation. La synthèse chez les plantes des phytostérols se fait dans le cytoplasme. Les premières parties sont identiques à celle du cholestérol chez les mammifères. D'abord, il y a la synthèse du mévalonate à partir de l'acétyl-CoA. Ensuite, la formation des unités isopréniques s'effectue avec une perte de CO₂. Après, plusieurs unités se rejoignent pour donner un squalène. La dernière étape est la cyclisation du squalène pour donner des phytostérols.

Les phytostérols les plus courants sont le β-sitostérol, le campestérol et le stigmastérol. Le β-sitostérol est le principal phytostérol retrouvé dans les végétaux. Les stanols sont des stérols saturés (pas de doubles liaisons au niveau de la structure cyclique). Il y a deux stanols principaux : le sitostanol et le campestanol. Ils sont moins présents dans la nature que les stérols. Du fait de leurs structures très proches du cholestérol, ils vont entrer

en compétition avec lui pour la formation des micelles. Les micelles ont une affinité plus forte pour les phytostérols. Elles vont véhiculer les lipides vers les entérocytes de la paroi intestinale où aura lieu leur absorption. Le cholestérol libre n'ayant pu rentrer dans la formation de micelles va être éliminé par voie fécale.

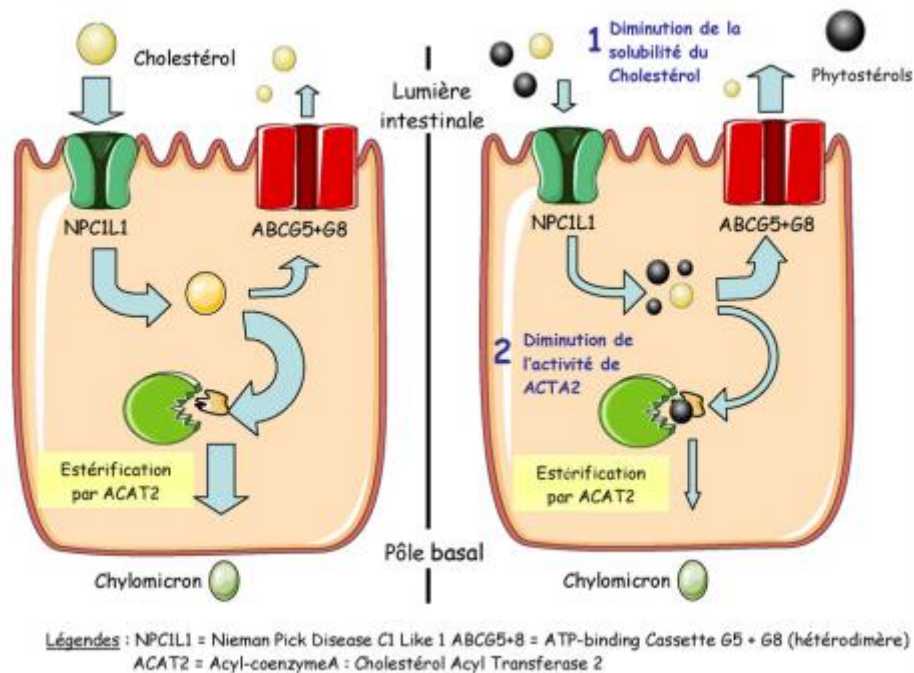


Figure n°64 : Action des phytostérols par rapport au cholestérol dans l'entérocyte d'après Séjourné (266)

Illustration réalisée grâce à Servier Medical Art

Dans l'entérocyte, les phytostérols vont aussi jouer un rôle comme le montre la figure ci-dessus. Ils vont diminuer l'activité de l'ACAT2 intestinale, c'est elle qui permet l'estérification du cholestérol pour qu'il puisse sortir de la cellule sous forme de chylomicrons. Les phytostérols sont donc capables de réduire l'assimilation du cholestérol d'origine alimentaire mais ils possèdent une très faible absorption intestinale.

Les phytostérols ont plusieurs rôles : ce sont des constituants des membranes cellulaires et notamment au niveau de la membrane externe des mitochondries et du réticulum endoplasmique. Ce sont des précurseurs de certaines hormones végétales. Au niveau de la peau, ils aident à la protéger des UV, améliorent la microcirculation et freinent le vieillissement cutané.

Les phytostérols sont essentiellement contenus dans les huiles, les graines, les noix, les céréales et les légumineuses. Ils sont présents en faibles quantités. Le tableau n°23

provient de la publication d'Ellegard *et al.* 2007, Ostlund *et al.* 2002b, Phillips *et al.* 2005, Ryan *et al.* 2007. Il nous indique différentes catégories d'aliments où les phytostérols sont présents avec leurs différentes teneurs.

Aliments	Teneur en phytostérols (mg/100 g de produit consommable)
Fruits et légumes	
Brocolis congelés	44
petits pois, congelés	25
Orange	24
Pomme	13
Concombre	6
Tomate	5
Céréales	
Germe de blé	553
Son de blé	200
Pain suédois	89
Pain complet	53
Flocons d'avoine	39
Pain complet	29
Graines oléagineuses	
Amande	266
Maïs	968
Sésame	865
Matières grasses et huiles	
Huile de maïs	912
Huile de colza	668
Margarine liquide	522
Huile de tournesol	213
Beurre à tartiner	153
Huile d'olive	154

Tableau n°23 : Teneur en phytostérols en mg de divers aliments pour 100 g d'après l'ANSES (27)

Le raffinage des huiles n'est pas sans conséquence. Une étude de Ferrari *et al.* (118) de 1996 a permis de connaître la perte de teneur en stérols à cause du raffinage. La teneur en stérols des huiles de colza dégommees, décolorées et désodorisées a diminué de 5,9 %, 18,5 % et 39,6 % respectivement par rapport à une huile de colza brute. Cependant, il existe des solutions. D'après Ghazani *et al.* (129) en 2012, l'utilisation de l'oxyde de magnésium lors de la neutralisation a minimisé la perte en tocophérols, en stérols et en polyphénols (cf. tableau n°24).

	Tocophérols	Stérols	Polyphénols
Soude	19,6 %	9,7 %	94,4 %
Oxyde de magnésium	2,6 %	3,4 %	75,4 %

Tableau n°24 : Diminution de la teneur en tocophérols, en stérols et polyphénols avec une neutralisation à la soude ou à l'oxyde de magnésium par Ghazani *et al.* (129)

Cette même diminution apparaît en utilisant de l'hydroxyde de calcium ou du silicate de sodium.

Les propriétés très intéressantes des phytostérols ont donné envie à certaines marques de les utiliser comme un argument marketing en enrichissant leurs produits avec, notamment les margarines ou les produits laitiers. L'Europe (et plus précisément l'Autorité Européenne de la Sécurité Alimentaire : EFSA) a autorisé deux allégations : « les phytostérols ou les phytostanols diminuent le cholestérol sanguin » et « réduire le cholestérol sanguin peut réduire le risque de maladies coronariennes ».

En 1999, le CSHPF (Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France) a rendu un avis sur un aliment enrichi en phytostérols. Il indiquait que cela pouvait présenter un intérêt pour les sujets hypercholestérolémiques, mais pas pour des sujets hypo- ou normocholestérolémiques. Afin de connaître les effets de cet enrichissement à long terme, le CSHPF a demandé des études supplémentaires. Ce manque d'informations sur la sécurité a conduit l'AFSSA (Agence française de sécurité sanitaire des aliments), en 2002, à déconseiller ces aliments aux femmes enceintes, allaitantes et aux enfants sauf si avis médical favorable.

Le fait que les phytostérols amènent une réduction d'environ 10 % de la cholestérolémie totale et de la teneur en LDL-C circulant a été validée par l'EFSA en 2008. Cependant, un certain pourcentage de la population (environ 30 % des sujets) ne répond pas à cette diminution. Cette réduction est observée avec des apports entre 1,5 et 2,4 g/j.

Le 15 janvier 2010, l'UFC QUE CHOISIR a saisi l'AFSSA pour vérifier si les bénéfices des phytostérols étaient démontrés scientifiquement et non un argument de vente non fondé. Le 6 juin 2014, l'AFSSA devenu l'ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation) a publié un rapport dans lequel elle affirme que « les données actuellement disponibles ne permettent pas de considérer, au plan de la santé publique, les aliments enrichis en phytostérols/stanols comme un moyen approprié de prévention des maladies cardiovasculaires ».

Néanmoins plusieurs études ont été réalisées pour connaître les rôles des phytostérols. L'étude de Gylling et Miettinen (143) en 1994 s'est intéressée à onze hommes

diabétiques non-insulinodépendants avec une hypercholestérolémie et un âge moyen d'environ 58 ans. Ils ont eu un traitement par sitostanol incorporé dans de la margarine d'huile de colza (son ester est liposoluble ce qui facilite son incorporation dans les aliments). La margarine pouvait être ou non enrichie, elle avait le même goût et la même texture. Le sitostanol est un dérivé saturé du β -sitostérol. Les chercheurs ont étudié la cinétique des LDL et des HDL. Les résultats indiquent une diminution significative pour le cholestérol total (5,98 à 5,62 mmol/L), pour le VLDL (0,72 à 0,63 mmol/L) et pour le LDL (3,83 à 3,46 mmol/L) pour les participants de l'étude. Le taux de HDL, lui, a augmenté significativement (1,13 à 1,24 mmol/L). Malgré ce petit échantillon, les résultats sont cependant encourageants.

L'étude d'Hallikainen *et al.* (144) en 2011 a été effectuée chez des personnes prenant un traitement hypocholestérolémiant comme une statine par exemple en association avec des phytostérols. Les statines ou inhibiteurs de la HMG-CoA réductase sont utilisées dans le traitement de l'hypercholestérolémie en prévention primaire et secondaire des maladies cardiovasculaires. L'étude d'Hallikainen *et al.* (142) a analysé l'effet de la consommation de margarine enrichie (3 g/j d'esters de phytostanols) ou d'une margarine classique chez 29 personnes diabétiques de type 1 sous statines pendant 4 semaines. Les statines et le dosage utilisés diffèrent entre les patients mais chaque patient utilise la même statine depuis un certain temps. Les résultats se basent sur 24 sujets qui ont terminé l'étude. Il y a une diminution de 16,4 % de LDL, de 15,3 % de cholestérol non HDL et de 9,6 % pour la concentration sérique totale dans le groupe avec la margarine enrichie. Le cholestérol non-HDL correspond à la quantité de lipoprotéines athérogènes comme les VLDL. Les concentrations de cholestérol HDL et de triglycérides sériques n'ont pas changé. Le problème de cette étude est le faible nombre de participants, il n'est donc pas possible de généraliser les résultats à une population entière.

Les valeurs du tableau ci-dessous concernent une personne sans facteur de risques.

	Objectifs thérapeutiques	Objectifs thérapeutiques
Triglycérides	< 1,5 g/L	< 3,87 mmol/L
Cholestérol total	< 2 g/L	< 5 mmol/L
HDL-cholestérol	> 0,4 g/L	> 1 mmol/L
LDL-cholestérol	< 1,6 g/L	< 4,1 mmol/L

Tableau n°25 : Les normes de références attendues lors du bilan lipidiques d'après Améli (20)

L'étude d'Hallikainen *et al.* (144) indique qu'un traitement à base de statines et un enrichissement en phytostérols permettent une baisse de la cholestérolémie. La question qui se pose est la suivante : en-est-il de même pour une personne avec une hypercholestérolémie mais sans traitement ? L'étude d'Hendriks *et al.* (147) de 2003 répond à cette question. Elle s'est intéressée à 185 volontaires sains (avec une cholestérolémie moyenne de 5,90 +/- 0,98 mmol/L) pendant un an pour évaluer l'efficacité des esters de phytostérols pris à 1,6 g/jour ce qui correspond à 20 grammes par jour de pâte à tartiner. C'est une étude randomisée en double aveugle. La figure A concerne la concentration de cholestérol total et la figure B celle en LDL-cholestérol. Les deux figures sont représentées ci-dessous.

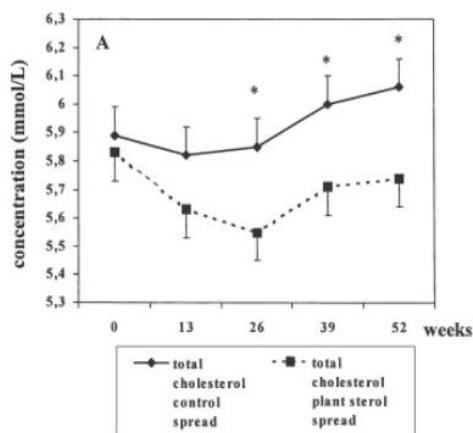


Figure n°65 : Concentration du cholestérol total en fonction du temps d'après d'Hendriks *et al.* (147)

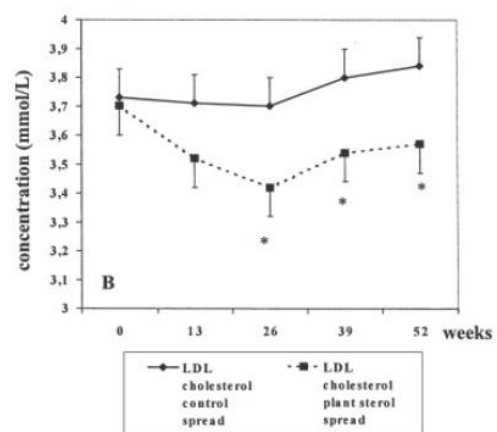


Figure n°66 : Concentration du LDL-cholestérol en fonction du temps d'après d'Hendriks *et al.* (147)

Le LDL-C a diminué significativement de 6 % dans le groupe avec le phytostérol par rapport au groupe placebo. La diminution du taux de cholestérol total est d'environ 4 %. Les concentrations en caroténoïdes ont diminué légèrement mais en revanche les taux de

vitamine A ou de vitamine K n'ont pas changé. Après 13 semaines d'étude, la majorité des volontaires prenaient les phytostérols uniquement au petit-déjeuner. Les scientifiques leur ont demandé alors de les consommer sur au moins deux repas afin de prolonger leur présence au niveau intestinal escomptant un éventuel abaissement du taux de cholestérol plus important. En fait avec une consommation étalée dans la journée, les tests réalisés par la suite n'ont pas montré de réduction significative du taux de ce dernier.

L'article écrit par Katan *et al.* (175) résume les avis de plusieurs experts lors d'une réunion à la *Nutrition Foundation* d'Italie qui a eu lieu en mars 2001. Ils ont analysé 56 essais pour connaître la réduction du LDL-cholestérol, en fonction de la dose de stérols et/ou de stanols.

Dose de stérol et de stanol (g/d)	Nombre d'essais	Réduction du LDL cholestérol (%) (IC 95%)
0,7 – 1,1	8	6,7 (4,9 – 8,6)
1,5 – 1,9	13	8,5 (7,0 – 10,1)
2,0 – 2,4	14	8,9 (7,4 – 10,5)
> ou = 2,5	21	11,3 (10,2 – 12,3)

Tableau n°26 : Réduction du cholestérol en fonction de la dose de stérol et de stanol par Katan et al. (175)

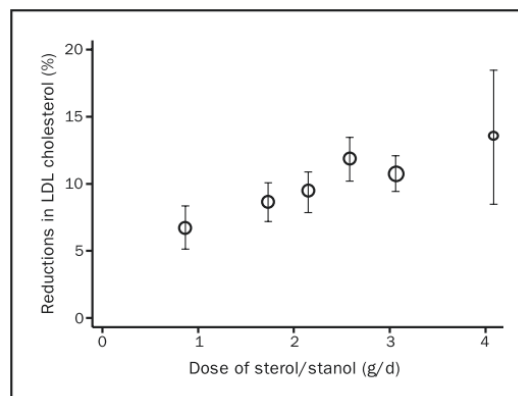


Figure n°67 : Réduction du LDL-cholestérol en fonction du taux de stérol par Katan et al. (175)

Le tableau et la figure ci-dessus nous montrent la réduction du cholestérol en fonction de la dose de stérols et de stanols. Une dose d'environ 2 g/jour diminue d'environ 8 %, les concentrations en LDL-cholestérol. A partir d'une dose supérieure à 2,5 g/jour, la diminution du taux de LDL- cholestérol s'atténue.

Comme vu précédemment, une alimentation enrichie en phytostérols ou un traitement avec statine et phytostérol ou un régime spécifique permet une diminution de la cholestérolémie. Si les trois paramètres sont assemblés, de combien peut être la diminution ?

L'article coécrit par Edwards et Moore (107) en 2003 s'est intéressé à l'action des statines. Les scientifiques ont recherché des études contrôlées randomisées et en double aveugle qui ont évalué l'effet des statines sur le cholestérol chez des patients atteints d'hypercholestérolémie. Les études devaient comporter au moins 20 patients et durer plus de trois mois. Après les exclusions, il restait 91 essais avec 43 404 patients sous statines et 25 081 sous placebo. Les principales statines étudiées sont la lovastatine, la pravastatine et la simvastatine. La lovastatine est un métabolite fongique qui a été isolé à partir de cultures d'*Aspergillus terreus*.

	Cholestérol total	LDL-cholestérol	HDL-cholestérol
Pravastatine	↓ 20 %	↓ 27 %	↑ 13 %
Simvastatine	↓ 25 %	↓ 36 %	↑ 8 %

Tableau n°27 : Impact de deux statines sur le cholestérol d'après Edwards et Moore (107)

Les deux statines n'ont pas donné exactement les mêmes résultats, ce qui peut orienter le choix du traitement médicamenteux initié par le médecin.

En combinant les résultats de deux études, A.Trautwein *et al* (3) en 2010 ont créé une illustration que Camus Gilles (63) a traduit.

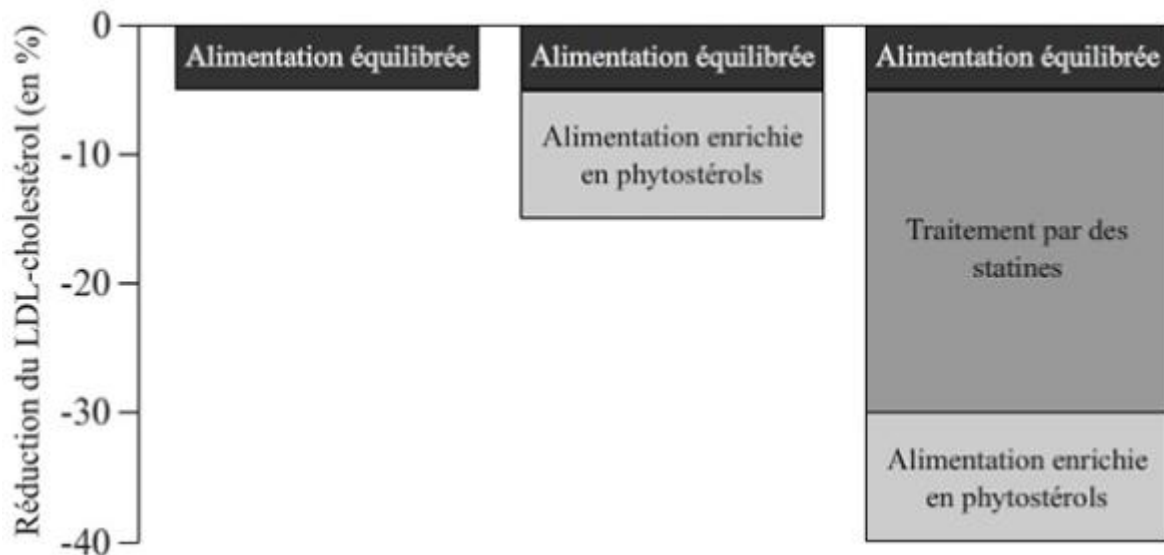


Figure n°68 : Diminution du LDL cholestérol en fonction de divers paramètres
par A.Trautwein et al. (3) et Camus Gilles (63)

Celle-ci montre la diminution que peut atteindre le LDL-cholestérol (« mauvais cholestérol ») en fonction de trois paramètres :

- mesures diététiques seules,
- mesures diététiques et alimentation enrichie en phytostérols
- ou mesures diététiques avec alimentation enrichie en phytostérols et un traitement avec une statine.

Dans le premier cas, avec des mesures diététiques, la diminution attendue peut-être d'environ 5 % du LDL-cholestérol. Si le paramètre de l'alimentation enrichie en phytostérols à 2-3 grammes/jour est ajouté, la baisse peut aller à plus de 15 %. En plus, avec un traitement médicamenteux à base de statines, la diminution du LDL-cholestérol peut attendre les 40 %. Ceci nous permet de dire qu'il ne faut pas les opposer mais que les associer en cas de besoin permet d'obtenir un effet plus important.

c) Les hydrocarbures

Les hydrocarbures sont présents comme par exemple dans les insaponifiables de l'huile d'olive. Ce sont des composés inflammables, non miscibles à l'eau. Parmi eux, se trouve le squalène (C₃₀H₅₀). Il intervient dans la voie de biosynthèse du cholestérol, des hormones stéroïdes et de la vitamine D. Il agit en piégeant l'oxygène. C'est un composant très important du sébum humain (environ 12 %).

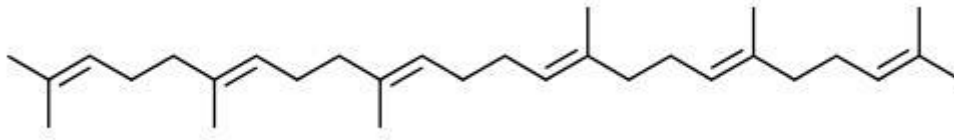


Figure n°69 : Formule chimique du squalène d'après la Royal Society of Chemistry (254)

L'étude d'Aioi *et al.* (18) réalisée en 1995 sur des rats a mis en évidence que le squalène est intéressant comme protecteur de la peau. Le protocole de l'étude est le suivant : les trois types de pommade utilisées sur les cobayes ont été fabriqués juste avant l'application. Le lauroylsarcosine est un irritant et le superoxyde dismutase est un antioxydant. La pommade a été appliquée sur le dos rasé d'un rat pendant 24 heures. Un score d'érythème a été établi d'après la méthode de Draize : érythème léger : score 1, modéré : score 2 et sévère : score 3. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Numéro de la pommade	Composition de la pommade	Score 1	Score 2
1	1% LS	0/6	6/6
2	1% LS + 10% de squalène	5/6	1/6
3	1% LS + 90 000 U/g de Superoxyde dismutase	4/6	2/6

Tableau n°28 : Effets du squalène, du lauroylsarcosine et du superoxyde dismutase sur la peau des rats d'après Aioi *et al.* (18)

La première pommade a créé un érythème modéré chez les six animaux. En présence de squalène, la grande majorité des rats ont eu un score d'érythème inférieur (seul un rat a eu un érythème modéré). Avec l'antioxydant, quatre rats ont un score léger et deux ont un érythème modéré.

Le squalène peut être d'origine marine (foie de requin) ou végétale (l'huile d'olive ou la canne à sucre). Il est plus cher quand son origine est végétale. Cependant la demande de squalène d'origine végétale augmente à la suite de nombreuses polémiques liées aux massacres des requins. L'origine du squalène n'est pas indiquée sur l'étiquette mais certaines marques communiquent sur l'origine végétale de celui-ci.

d) Les cires naturelles végétales

Les cires naturelles végétales sont des esters d'acides gras et de monoalcools aliphatiques. Ce sont des sous-produits d'industries agroalimentaires issues du raffinage des HV. Elles ont une faible viscosité, une plasticité à température ambiante et sont hydrophobes. Elles apportent un aspect trouble mais ce sont des constituants naturels de l'huile. Elles participent à la formation des pellicules protectrices des graines et des fruits chez les végétaux.

E. Classification des huiles végétales

Les huiles végétales peuvent être classées en fonction :

- de leur AG majoritaire ;
- de leur point de fumée ;
- de leur cultivar.

1. Classification des huiles végétales en fonction de leur AG majoritaire

Les huiles alimentaires ne contiennent pas d'eau et sont très caloriques. Le tableau ci-dessous nous présente quelques huiles avec le nombre de kilocalories pour 100 g.

Huile végétale	Nombres de kilocalories pour 100 g
Huile de cameline	900 kcal
Huile de colza	900 kcal
Huile de lin	900 kcal
Huile d'olive	820 à 900 kcal
Huile de palme	885 kcal
Huile de tournesol	900 kcal
Huile de riz	830 kcal

Tableau n°29 : Le nombre de kilocalories pour 100g d'huile végétale d'après les calories (194)

La médiane du nombre de kcal dans 100 g d'huile végétale d'environ 900. Elles sont souvent classées en fonction de leur acide gras majoritaire.

Il y a les huiles composées majoritairement de:

- AGMI. Ce sont les huiles oléiques comme l'huile d'olive.
- AGPI $\omega 6$. Ce sont les huiles linoléiques comme l'huile de tournesol.
- AGPI $\omega 3$. Ce sont les huiles α -linoléiques et l'huile de cameline fait partie de cette catégorie.
- AGS dont fait partie l'huile de palme.

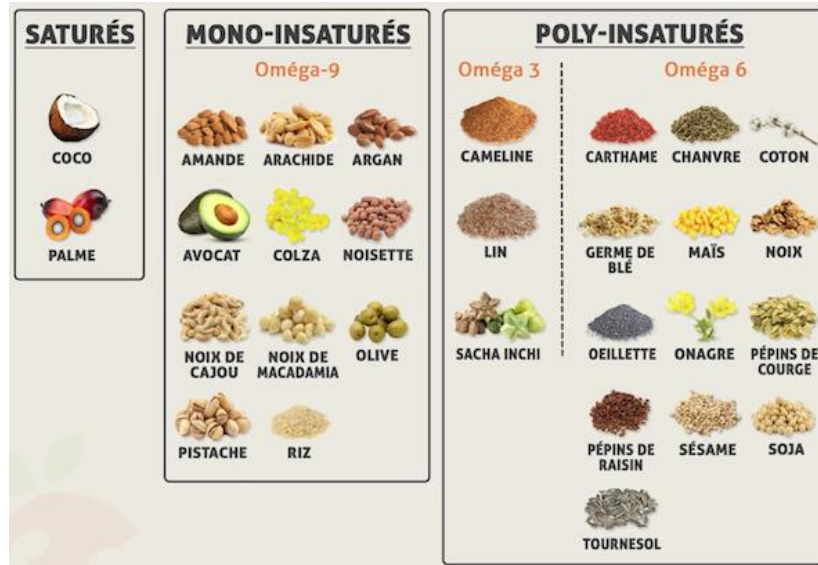


Figure n°70 : Classification des huiles en fonction de leurs richesses en AG
d'après le médecin Henry Jean Yves (149)

Voici deux tableaux réalisés par Morin et Pagès-Xatart-Parès (216) qui indiquent plus en détail la composition en acides gras de diverses huiles.

Huiles/corps gras		Arachide	Cameline	Colza	Colza oléique	Germe de maïs	Lin	Noisette	
Ac. gras		Toutes origines			Variétés différentes				
<i>saturés</i>									
Ac.myristique	C14:0	-	< 0,1	< 0,2		< 0,1	-	< 0,1	
Ac.palmitique	C16:0	8-13	5-8	4-5	3	8-13	4-6	5-9	
Ac.margarique	C17:0	< 0,1	< 0,1	-	-	-	-	< 0,05	
Ac.stéarique	C18:0	1-4,5	2-3	1-2	2	1-4	2-3	1-4	
Ac.arachidique	C20:0	1-2	1,5	< 1	< 1	< 1	< 0,5	< 0,3	
Ac.béhénique	C22:0	1,5-4,5	0,5	< 0,5		< 0,5	-	-	
Ac.lignocérique	C24:0	0,5-2,5	0,2	< 0,2		-	-	-	
<i>monoinsaturés</i>									
Ac.palmitoléique	C16:1 n-7	< 0,2	0,2	< 0,6		< 1	< 0,5	< 0,3	
Ac.heptadécénoïque	C17:1	-	< 0,1	-		-	-	< 0,05	
Ac.oléique	C18:1 n-9	35-66	10-24 (14-19)	55-62 (60)	66-75	76-80,6	24-32	10-22 66-83	
Ac.gadoléique/ gondoïque	C20:1 n-11/ n-9	0,7-1,7	12-18 (12-17)	1-2		< 0,5	< 0,6	-	
Ac.érucique	C22:1 n-9	-	2-5 (1,5-4)	< 0,5 (0,2)		-	-	-	
<i>polyinsaturés</i>									
Ac.linoléique	C18:2 n-6	14-42	12-24 (18-21)	18-22 (20)	14-20	11-12,6 55-62	12-18	8-25	
Ac.alpha-linolénique	C18:3 n-3	< 0,3	32-42 (27-35)	8-10 (10)	[3] 4,4-7,9	2,3-4,4 < 2	56-71	< 0,6	
Ac.gras saturés	AGS	12-27	9-13 (11)	6-8	-	-	10-18	6-9 6-13	
Ac.gras monoinsaturés	AGMI	35-68	24-48 (39)	57-65	70	80	25-33	11-23 66-83	
Ac.gras polyinsaturés	AGPI	14-42	44-66 (50)	26-32	-	-	57-64	70-80 9-26	
+ C24:1 (0,5-1)									

Tableau n°30 : Les compositions de différentes huiles végétales par Morin et Pagès-Xatart-Parès (216)

Huiles/corps gras		Noix	Olive (COI/UE)	Pepins de raisin	Sesame	Soja	Tournesol	Tournesol oléique
Ac. gras								
<i>saturés</i>								
Ac.myristique	C14:0	-	< 0,05	< 0,3	< 0,1	< 0,2	< 0,2	-
Ac.palmitique	C16:0	6-8	7,5-20,0	7-10	8-11	8-13	5-8	3,0-4,8
Ac.margarique	C17:0	< 0,1	< 0,3	< 0,1	< 0,3	-	< 0,1	-
Ac.stéarique	C18:0	1-3	0,5-5,0	3-6	4-6	3-6	4-6	3,0-4,5
Ac.arachidique	C20:0	< 0,3	< 0,6	< 0,3	< 1	< 1	< 0,5	0,2-0,5
Ac.béhénique	C22:0	< 0,2	0,2	< 0,5	< 0,3	< 0,7	0,5-1	0,5-1,1
Ac.lignocérique	C24:0	-	0,2	-	< 0,3	< 0,4	< 0,3	< 0,5
<i>mono-insaturés</i>								
Ac.palmitoléique	C16:1 n-7	< 0,2	0,3-3,5	< 0,5	< 0,2	< 0,2	< 0,5	< 0,1
Ac.heptadécénoïque	C17:1	-	< 0,3	< 0,1	-	-	-	-
Ac.oléique	C18:1 n-9	14-21	55-83	14-22	36-42	17-26	15-25	75-85
Ac.gadoléique/ gondoïque	C20:1 n-11/ n-9	< 0,3	0,4	< 0,2	< 0,4	< 0,4	< 0,5	0,1-0,5
Ac.érucique	C22:1 n-9	-	-	-	-	< 0,2	< 0,2	< 0,1
<i>polyinsaturés</i>								
Ac.linoléique	C18:2 n-6	54-65	3,5-21,0	65-73	39-47	50-62	62-70	7,0-17,0
Ac.alpha-linolénique	C18:3 n-3	9-15	< 0,9	< 0,5	< 0,6	4-10	< 0,2	< 0,3
Ac.gras saturés	AGS	7-11	9-26	11-17	13-19	11-21	10-16	6-10
Ac.gras mono-insaturés	AGMI	14-21	56-87	15-23	36-43	17-27	15-26	75-83
Ac.gras polyinsaturés	AGPI	63-80	4-22	65-73	40-48	54-72	62-70	10-21
								& C20:2 n-6, ND-0,3 & C20:4 n-6, ND-0,1

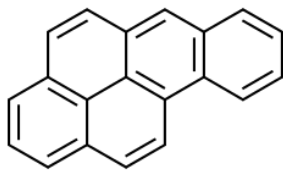
Tableau n°31 : Suites des différentes compositions des huiles végétales par Morin et Pagès-Xatart-Parès (216)

La composition des huiles varie énormément en AG. Chaque huile est unique et va répondre à des besoins spécifiques.

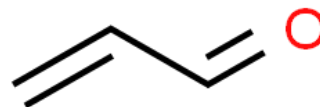
2. Classification des huiles végétales en fonction de leur point de fumée

Certaines huiles peuvent être chauffées mais toutes les huiles alimentaires ne restent pas stables aux mêmes hautes températures. Pour une même huile, la méthode d'obtention de l'huile va jouer un rôle et peut influencer la température critique. Et au-delà d'un certain seuil, elles peuvent dégager des substances toxiques.

D'après Barakat Elodie (38), le point de fumée correspond à « la température à partir de laquelle on détecte de la fumée lorsque l'on chauffe une matière grasse. Lorsque cette température est atteinte ou dépassée, des produits nocifs, toxiques, voire cancérigènes apparaissent : benzopyrènes, acroléine... ».



Benzopyrène



Acroléine

Figure n°71 : Illustration du benzopyrène et de l'acroléine d'après la Royal Society of Chemistry (254)

Il y aura une décomposition et une dénaturation de l'huile. La valeur du point de fumée limite la température de cuisson et permet de déterminer quelles sont les huiles utilisables en friture.

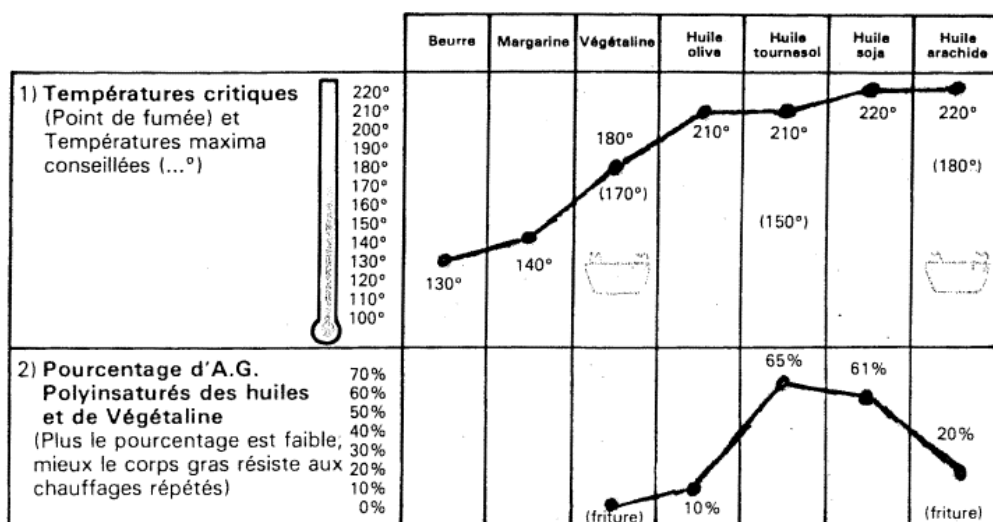


Figure n°72 : Température critique en fonction du pourcentage d'AGPI d'après Végétaline (308)

Les résultats sont liés à la stabilité de l'huile à l'oxydation et donc de son degré d'insaturation. Plus celui-ci est haut, moins l'huile sera stable. La végétaline® est une marque qui désigne une matière grasse composée d'huile de coprah 100 % hydrogénée (essentiellement des AGS), elle résiste donc à la chaleur et à la friture.

Le tableau ci-dessous nous indique qu'une huile raffinée a une température maximale de chauffage plus élevée qu'une huile non raffinée.

Matière grasse	Température maximale (°C) / Non raffinée	Température maximale (°C) / Raffinée
Huile de tournesol	107	227
Huile de tournesol oléique	160	232
Huile d'olive (extra vierge)	160	
Huile d'olive (extra légère)		252
Huile de colza	107	240
Huile de lin	107	
Huile de noix	160	204
Huile de soja	160	232
Beurre	120- 150	
Saindoux	210	

Tableau n°32 : Exemples des points de fumée des différentes matières grasses par Barakat Elodie (38)

En plus du point de fumée, la sécurité publique du Québec (265) nous donne la définition du point d'éclair et du point d'auto-inflammation :

- Le point d'éclair d'une huile est « la température la plus basse à laquelle cette dernière libère suffisamment de vapeurs pour s'enflammer sous l'effet d'une source d'énergie calorifique externe ».
- Le point d'auto-inflammation d'une huile est « la température à laquelle cette dernière s'enflamme spontanément sans la présence d'une source d'énergie calorifique externe ».

3. Classification des huiles végétales en fonction de leur cultivar

Un cultivar est une « plante de culture qui se distingue de la plante sauvage dont il est issu. Il peut descendre d'une espèce indigène ou d'une plante exotique. Il peut aussi être un hybride résultant du croisement de deux espèces différentes, ou de différents cultivars » d'après Energie Environnement (109).

Le choix de développer des espèces différentes est souvent lié à l'économie. Les scientifiques vont dans certains cas rechercher un meilleur rendement en graines pour obtenir plus d'huile. Ils vont dans d'autres cas augmenter ou diminuer la teneur d'un AG particulier (par exemple diminution de la teneur en acide érucique dans l'huile de colza). Le but de la recherche est peut aussi être visuel avec un changement de couleur de la plante pour une future commercialisation chez les fleuristes. La figure suivante nous propose trois variétés différentes de tournesol.



Figure n°73 : Trois variétés de tournesols : *Helianthus annuus hearth walker*, *Helianthus annuus teddy bear* et *Helianthus annuus solar eclipse F1* d'après promesse de fleurs (243)

Pour le tournesol, la France est le premier sélectionneur mondial. Le catalogue français augmente en moyenne d'une quinzaine de variétés par an. Cette sélection prend du temps comme nous le montre la figure n°74.

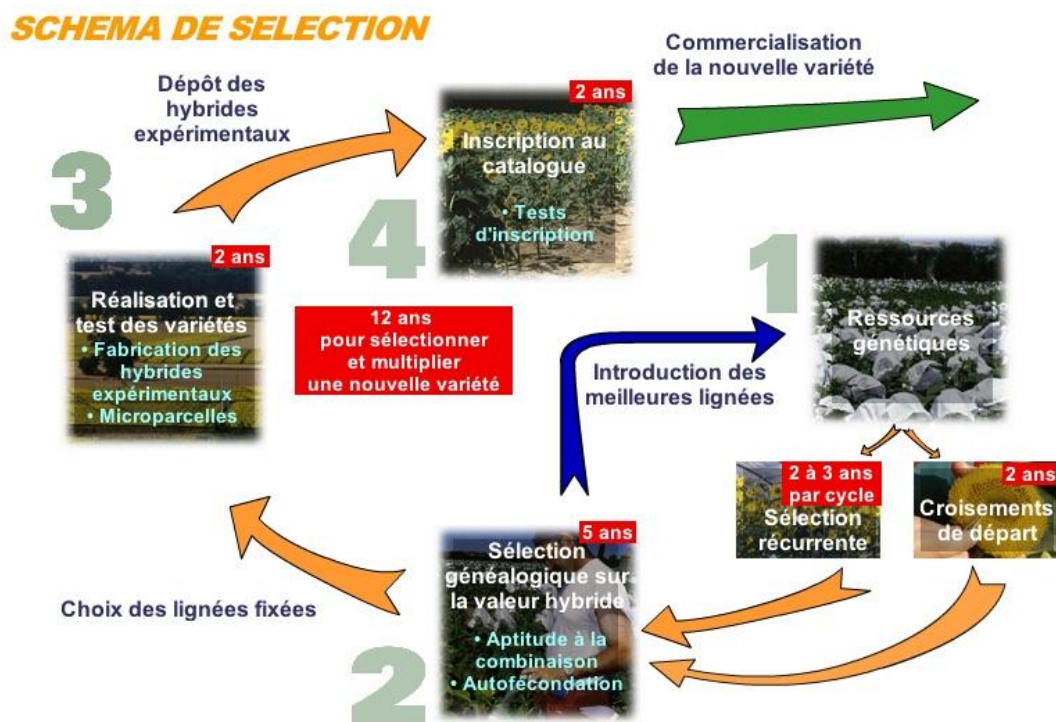


Figure n°74 : Schéma de sélection d'après GNIS

(Groupement national interprofessionnel des semences et des plants) (133)

Il faut environ 12 ans pour arriver à sélectionner une nouvelle variété. De nombreuses espèces testées ne vont pas terminer le processus. Elles seront éliminées pour diverses raisons : trop sensibles aux conditions météorologiques ou à certains insectes, temps de croissance trop long, rendement médiocre

Pour les olives, les variétés sont séparées en deux grandes classes : les olives à manger et les olives pour la production d'huile. Les différences se situent au niveau de la texture de la pulpe, de la forme... En fonction des pays, les olives cultivées sont différentes. La figure suivante nous présente quelques variétés.



Figure n°75 : Différentes variétés d'olive d'après Tramier (298)

En fonction de la région, les variétés d'olives cultivées seront différentes (cf. figure 76).



Figure n°76 : Les principales variétés d'olive pour la production d'huile en France d'après Paris Alexandra (231)

Cette séparation se retrouve pour le lin, certains cultivars sont destinés à l'industrie textile et d'autres, à la production d'huiles. Des espèces mixtes sont encore cultivées mais plus en France. Il existe entre 5 000 et 8 000 lignées de lin dans le monde. Jean-Paul Trouvé (301) précise par rapport à ce nombre de lignées que « certaines variétés n'ont pas de nom commercial car elles n'ont jamais été vendues aux agriculteurs. Il s'agit de variétés de lin qui n'étaient que des étapes dans le travail des sélectionneurs ou issues de récoltes locales de populations anciennes ».

Semences de France (267) développe régulièrement de nouvelles variétés de lin oléagineux. La figure n°77 nous montre l'indice de rendement en fonction de la variété. Ces données sont très importantes pour les agriculteurs pour qu'ils puissent choisir des bonnes cultures.

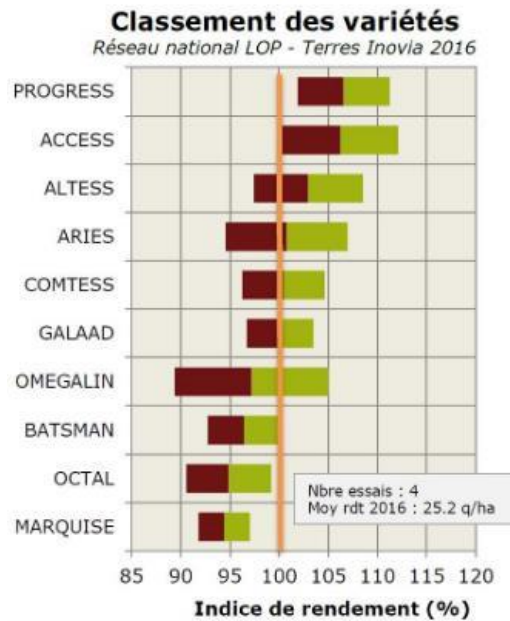


Figure n°77 : L'indice de rendement en fonction de la variété d'après Semences de France (267)

Les lins choisis sont pour la culture de printemps. Lors de ce test, il y avait deux nouveautés : Access et Progress (avec un rendement moyen respectif de 103,1 % et 114,7%).

Une même huile n'aura pas la même composition en fonction de la culture, de la génétique du plant...

F. Production et consommation des huiles végétales

Parmi le nombre très important d'huiles végétales, seule une dizaine représente 90% de la production mondiale. La France est le premier producteur d'oléagineux au sein de l'UE devant l'Allemagne. D'après Terres Univia (286), la filière française « produit plus de 2,6 millions de tonnes d'huile brute destinée à l'alimentation et à la production de carburant et autres applications non alimentaires ».

Le rapport d'activité de 2013 de la Fédération nationale des industries des corps gras nous donne les chiffres de la production d'huile brute en milliers de tonnes des années 2011 à 2013 en France (117).

	2011	2012	2013
Colza	1 563 618	1 862 192	1 925 752
Tournesol	671 342	549 832	527 284
Soja	119 442	118 936	96 815
Lin	17	18	19
Autres	14 146	9 422	7 783
Total	2 368 565	2 540 400	2 557 653

Tableau n°33 : Production d'huiles brute en milliers de tonnes pour la période 2011 à 2013
d'après la fédération nationale des industries des corps gras (FNCG) (117)

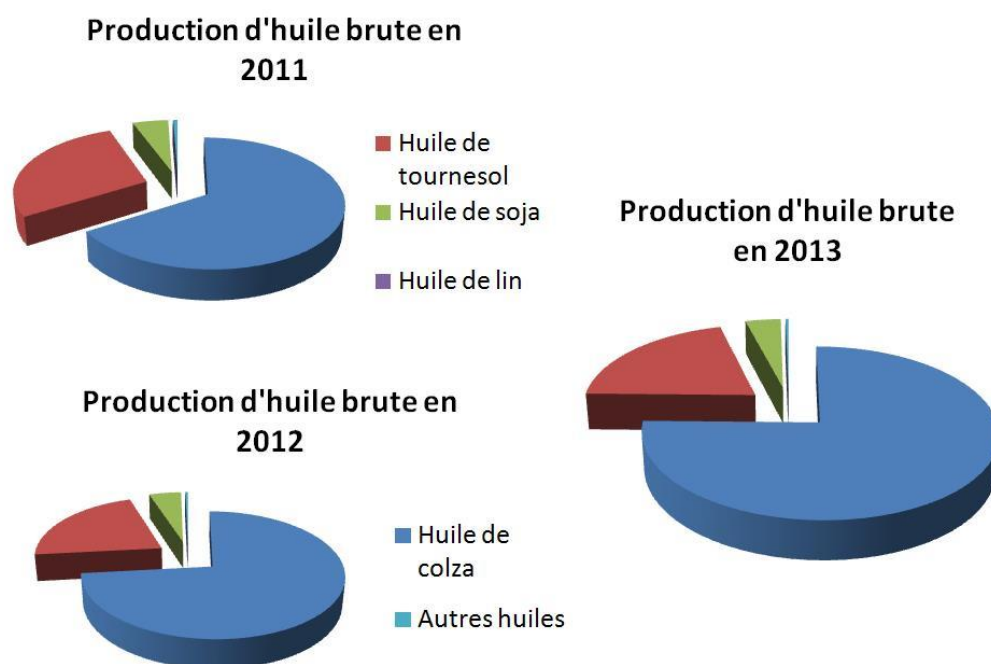


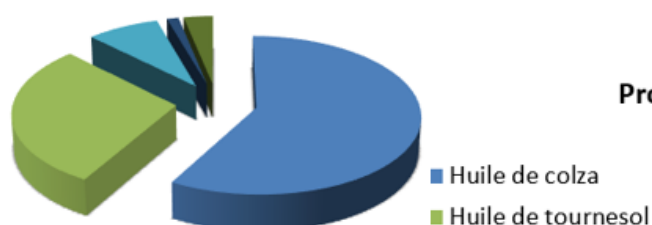
Figure n°78 : La production d'huile brute en France en 2011, 2012 et 2013
d'après la fédération nationale des industries des corps gras (117)

Les graphiques nous montrent que la production d'huile de lin est si faible qu'il est difficile de la voir (couleur violet). La production des autres huiles est aussi compliquée à distinguer. Ceci nous montre bien que la production est dominée principalement par l'huile de colza suivi de l'huile de tournesol et de soja.

	2011	2012	2013
Colza	985 529	1 343 861	1 436 442
Tournesol	495 857	487 844	436 884
Soja	135 900	124 004	45 905
Arachide	21 770	18 400	13 986
Autres fluides	54 502	55 299	21 251
Total	1 666 558	2 029 408	1 954 468

Tableau n°34 : Production d'huiles raffinées en milliers de tonnes pour la période 2011 à 2013
d'après la fédération nationale des industries des corps gras (117)

Production d'huile raffinée en 2011



Production d'huile raffinée en 2012



Production d'huile raffinée en 2013

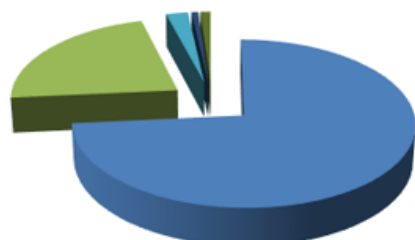


Figure n°79 : La production d'huile raffinée en France en 2011, 2012 et 2013
d'après la fédération nationale des industries des corps gras (117)

La production totale a augmenté sur la période 2011-2013. Certaines huiles comme l'huile de tournesol ont une production qui a chuté tandis que la production de colza, elle ne cesse de croître. Le second tableau, extrait du rapport d'activité de 2013 nous indique la production d'huiles raffinées en tonnes sur la même période. Le tonnage du soja et de l'arachide ont diminué, seul le tonnage du colza a progressé sur cette période. Le département de l'agriculture des Etats-Unis (98) en décembre 2017 a indiqué que l'offre mondiale d'huiles végétales serait de 216,4 millions de tonnes pour la campagne 2017-2018

soit une hausse de 3,4 % par rapport à la campagne de 2016-2017. Au niveau mondial, la production est différente.

Production mondiale d'huiles et de graisses en 2015 (sur un total de 179,6 millions de tonnes) (Oil World 2016)

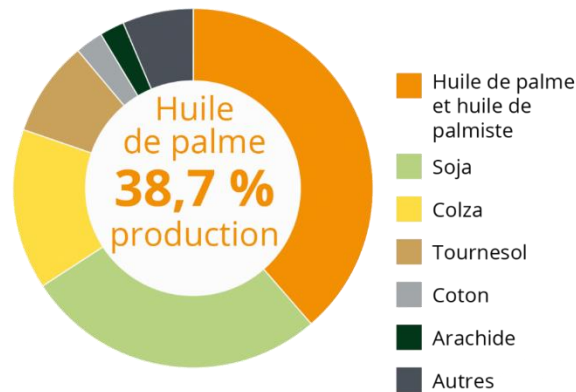


Figure n°80 : Production mondiale d'huiles en 2015 d'après Paris Alexandra (232)

En 2015, l'huile la plus produite est l'huile de palme avec 38,7 % de la production suivie de celle de l'huile de soja et de l'huile de colza. Les autres huiles (huile de noix, de cameline, de pépin de courge ...) représentent environ 8 % de la production.

(1 000 tonnes, prev. 2016/2017, source USDA, graph. A.Paris/Afidol)

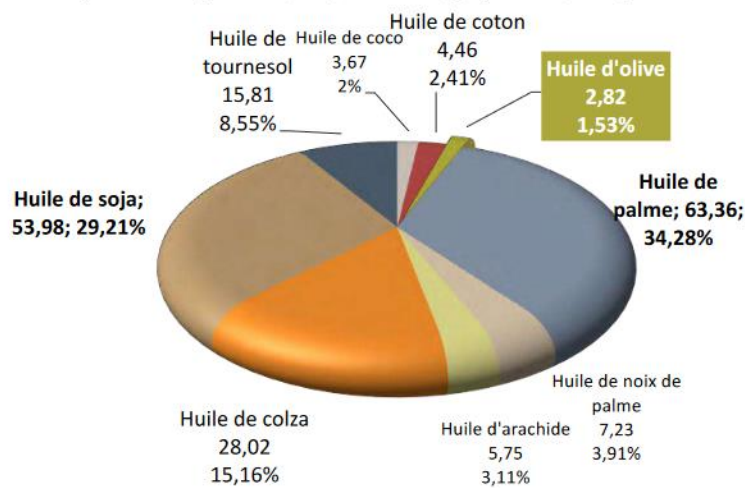


Figure n°81 : Consommation mondiale des principales huiles végétales pour l'année 2016/2017 d'après Paris Alexandra (232)

La production mondiale de colza pour l'année 2018/2019 s'élève à environ 67 millions de tonnes et sa répartition est la suivante :

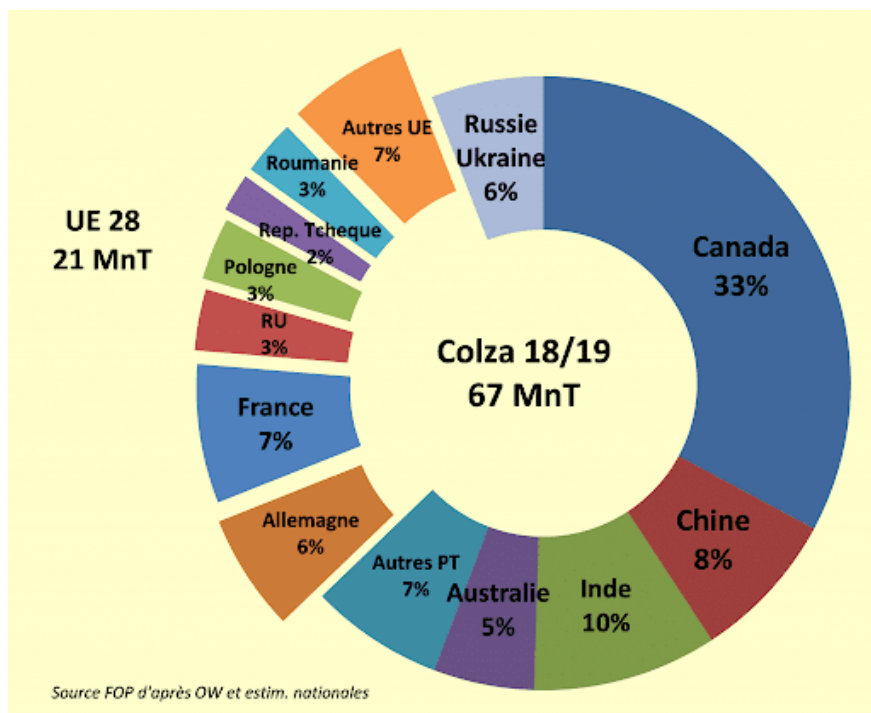


Figure n°82 : La production de colza dans le monde d'après FOP (Fédération Française des Producteurs d'Oléagineux et de Protéagineux) (122)

Une huile importante en France est l'huile d'olive. Elle représente une toute petite partie de la consommation mondiale (1,53 %). Sa consommation au niveau mondial ne cesse de diminuer : 2,2 % en 2007, 2% en 2012 et seulement 1,53 % en 2016. Quelles sont les huiles qui sont le plus consommées en France et dans le monde ? La France ne privilégie pas les mêmes huiles qu'au niveau mondial (cf. figures n°83 et n°84).

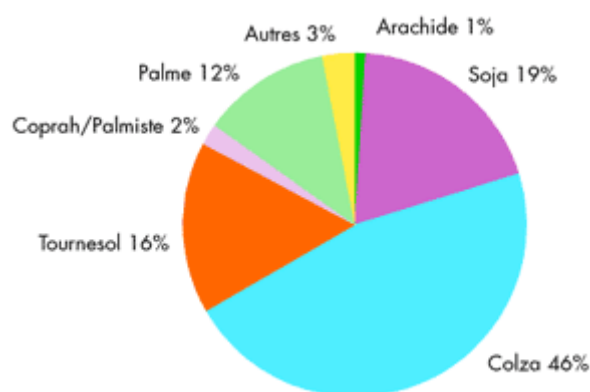


Figure n°83 : Consommation d'huiles en France par Terres Univia (289)

En 2008, en France, l'huile de colza est l'huile la plus utilisée suivie de l'huile de soja et en troisième, l'huile de tournesol. Au niveau mondial, c'est l'huile de palme (avec 34 % alors qu'en France, elle ne représente que 12 %), puis l'huile de soja et enfin l'huile de colza

(15 % *versus* 46 % en France, soit trois fois plus en proportion). L'huile de soja figure en deuxième position dans les deux cas.

Le site Statista (272) nous permet de découvrir la consommation mondiale d'huiles végétales de 2013/2014 à 2016/2017, par type d'huile en millions de tonnes. C'est un site donnant accès à des données concernant les marchés et les consommateurs.

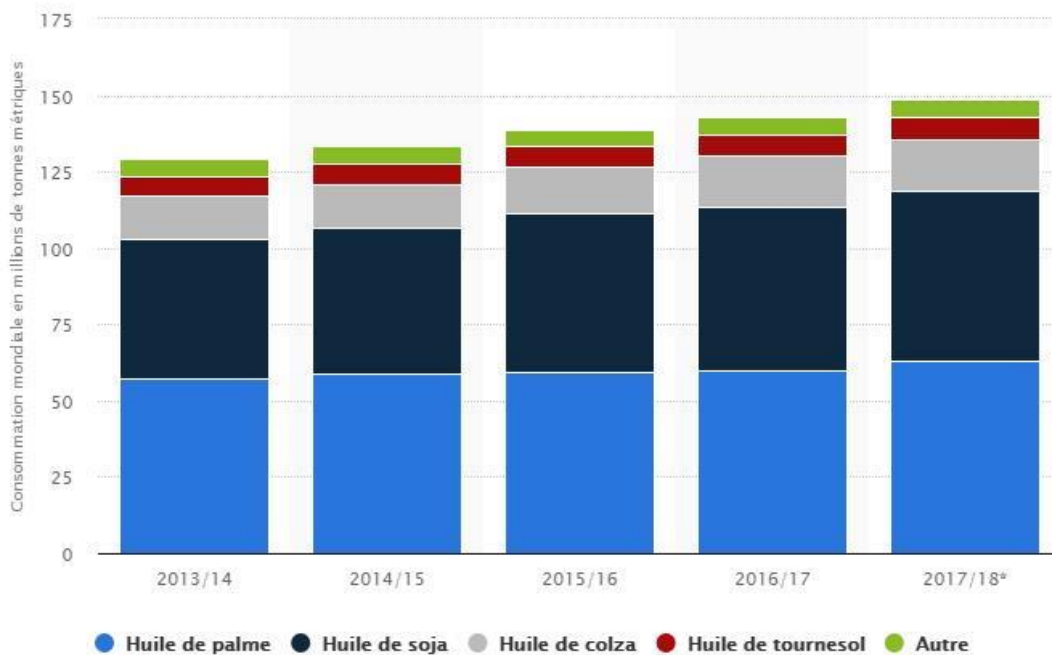


Figure n°84 : Consommation mondiale d'huiles végétales de l'année 2013/2014 à 2017/2018 (272)

Les principales huiles consommées sont : l'huile de palme, de soja, de colza et de tournesol. La consommation mondiale d'huiles végétales a augmenté de 126 à presque 150 millions de tonnes. La production d'huile de palme a peu augmenté (moins de 2,5 %). Celle d'huile de tournesol est plutôt stable ($\Delta=0,5$ %) tout comme la production de l'ensemble des autres huiles.

Nous allons maintenant nous intéresser aux prix des huiles (*cf.* figure n°85).

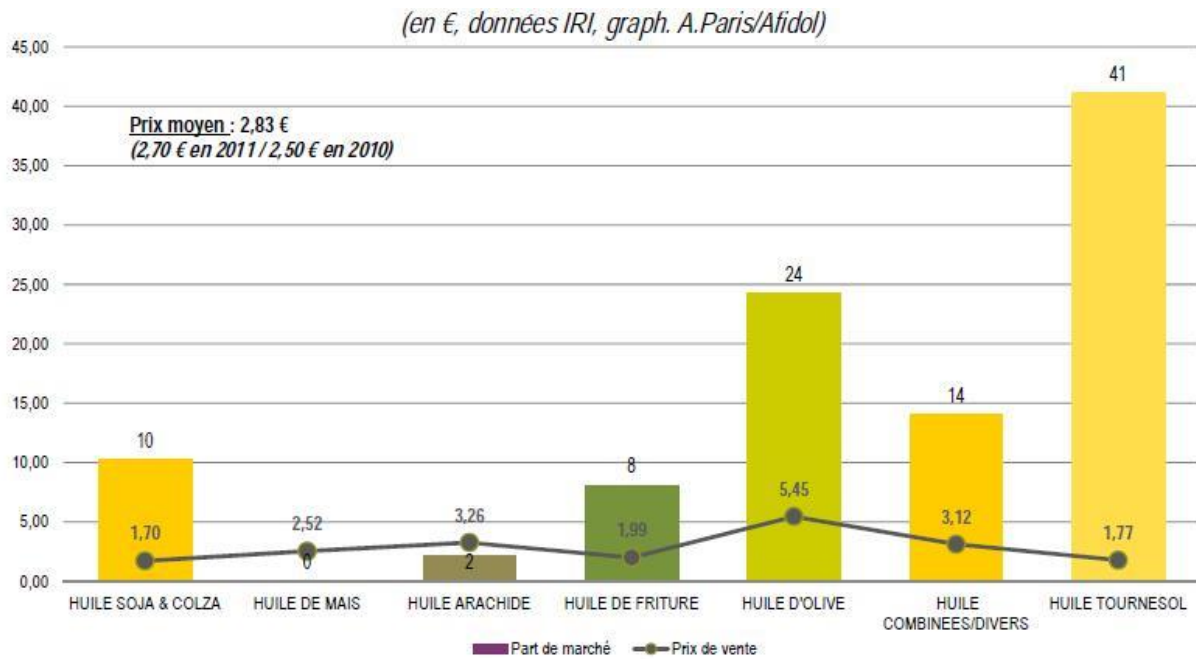


Figure n°85 : Prix moyen et parts de marché des huiles végétales en grande distribution par Paris Alexandra (231)

La part de marché des huiles végétales est exprimée en pourcentage et le prix moyen d'un litre d'huile est donné en euros. En grande surface, c'est l'huile de tournesol qui est la plus vendue, elle représente à elle seule 41 % du marché. Le prix moyen d'une huile est de 2,83€. L'huile d'olive est la plus chère à 5,45€ le litre et l'huile de tournesol est la moins chère à 1,77€ le litre. Le prix change en fonction de divers facteurs : origine (AB), première pression à froid...

L'huile végétale peut-être biologique ou non. Le marché de l'agriculture biologique se développe et connaît un véritable engouement en France depuis plusieurs années. En 2017, il a augmenté d'environ 17 % par rapport à l'année précédente pour atteindre la valeur de 8,373 milliards d'euros selon l'agence Bio (12). En 2016, l'agence Bio (Agence française pour le développement et la promotion de l'agriculture biologique) et le CSA (*Consumer Science & Analytics*, institut de sondages) (11) nous indique que près de 9 Français sur 10 ont consommé des produits biologiques au cours des douze derniers mois et que 65 % en à mangé une fois par mois. La très grande majorité des consommateurs (93 %) ont l'intention de maintenir ou d'augmenter leurs achats biologiques dans les 6 prochains mois. Pour 78 % des personnes interrogées, l'agriculture biologique est une solution fiable pour lutter contre les problèmes environnementaux. La filière biologique s'avère être un secteur d'avenir.

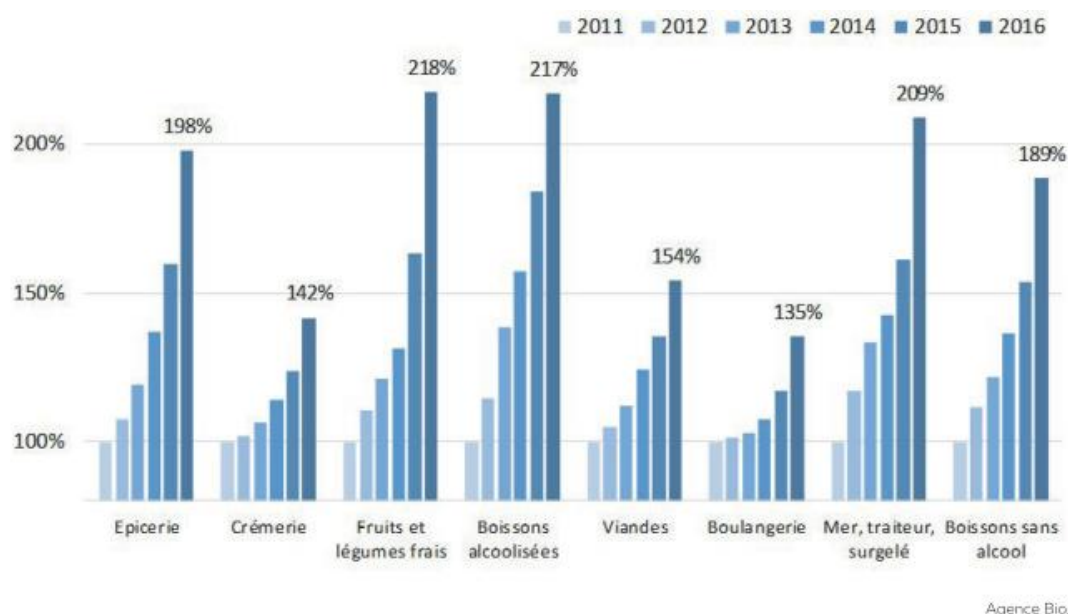


Figure n°86 : Evolution des ventes de produits alimentaires biologiques entre 2011 et 2016 par l'agence bio (11)

Le graphique ci-dessus représente l'évolution des ventes de produits alimentaires biologiques par groupe entre 2011 et 2016 (en indice base 100 en 2011). Les huiles font partie du rayon épicerie avec les pâtes ou le riz.

Peu importe le rayon, les ventes ont énormément augmenté depuis 2011, le rayon épicerie passe de 100 à 198 %, c'est la quatrième augmentation derrière les fruits et légumes frais, les boissons alcoolisées et les produits de la mer, rayon traiteur, rayon surgelé. Il est intéressant de regarder, de plus près, le rayon épicerie. En 2012, les ventes se répartissaient de cette façon (d'après le Baromètre CSA/Agence Bio - 2012) : 40 % pour les pâtes, riz et autres céréales, 26 % pour les huiles et 32 % pour les autres produits du rayon.

G. Domaines d'utilisation des huiles

1. L'alimentation

Le premier domaine d'utilisation de l'huile est l'alimentation. A l'heure actuelle, où en est-on, en France, de notre relation avec les huiles à usage alimentaire ? Terres Univia, représentant de l'interprofession des huiles et des protéines végétales a réalisé une étude avec *Opinion Way*. Cette dernière s'est portée sur un échantillon de 1 084 individus représentatifs de la population française âgé de 18 ans et plus, interrogés en ligne du 13 au 20 mars 2015. Les résultats se trouvent dans le tableau n°35.

Personnes qui pensent consommer trop d'huile	60%
Connaissance de la quantité d'huile végétale recommandée	23%
L'huile apporte des nutriments essentiels	89% le savent
L'huile est bonne pour la santé	80% sont d'accord
Il faut arrêter les huiles pendant un régime	Idée reçue n°1 à 63%
Elévation du taux de cholestérol	Idée reçue n°2 à 64%
Les huiles que possèdent les personnes interrogées	91%: Huile d'olive 64%: Huile de tournesol 33%: Huile de noix 30%: Huile de colza

*Tableau n°35 : Quelques résultats du « Sondage Opinion Way
« Les Français et l'huile végétale » pour Terres Univia » (288)*

La quantité d'huile végétale recommandée lors du sondage était de deux cuillères à soupe par jour et par personne. Les nouvelles recommandations du Programme National Nutrition Santé de 2019 (242) indiquent simplement que les matières grasses « peuvent être consommées tous les jours en petites quantités » et qu'il faut « privilégier l'huile de colza, de noix et d'olive ». Par rapport à l'idée reçue n°1 (cf. tableau ci-dessus), il est important de continuer à consommer les deux cuillères à soupe pendant un régime puisqu'elles apportent des acides gras essentiels et des vitamines.

Nous consommons tous, tous les jours, des huiles. En fonction des régions, les produits ne sont pas les mêmes d'où un gradient Nord/Sud. Au nord de la France, c'est plutôt le beurre alors qu'au Sud, les habitants préfèrent l'huile et en particulier l'huile d'olive. Ce gradient a tendance à diminuer avec le temps. Les premiers résultats de l'étude Nutrimet en 2009 soulignaient des disparités en fonction des régions (113).

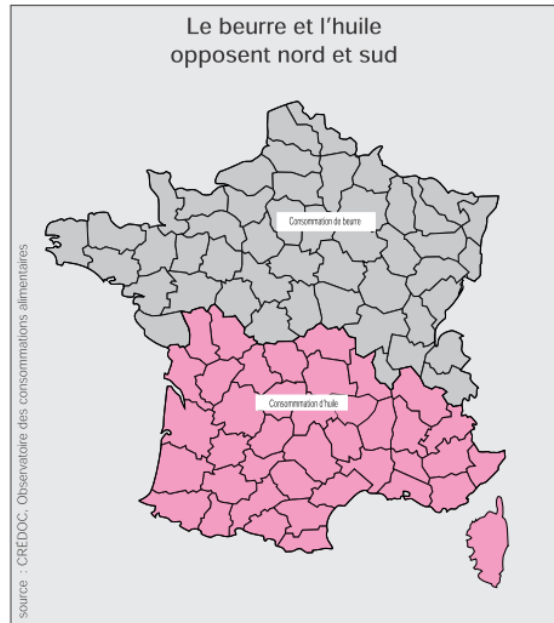


Figure n°87 : La France coupée en deux : au nord, le beurre et au sud, l'huile d'après Rendu Yvon (248)

L'Association Française Interprofessionnelle De l'Olive (AFIDOL) a publié en décembre 2012 ces trois cartes de France avec la consommation de beurre, de margarine et d'huile végétale (principalement l'huile de tournesol et l'huile d'olive).

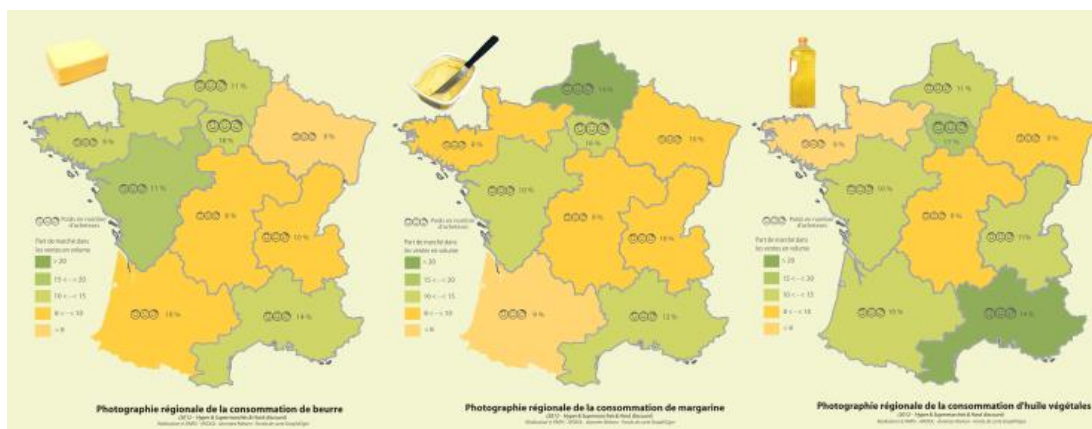


Figure n°88 : Les préférences des régions de France entre le beurre, la margarine et l'huile d'après AFIDOL (7)

En fonction des régions, des traditions culinaires et des endroits, il y a des différences. La margarine est principalement utilisée au Nord, le beurre est plus consommé dans le Nord-ouest et les huiles végétales dans le Sud-est. Par exemple, l'Île de France est une région qui a presque la même couleur, ceci s'expliquerait du fait de l'hétérogénéité de la population.

La consommation d'huile d'olive en France a triplé en trente ans (de 35 000 tonnes en 1980 à 105 000 tonnes en 2010). La très grande majorité de cette huile provient de

l'étranger. La région de France qui en consomme le plus et qui en produit le plus est la région PACA (Provence Alpes Côte d'Azur).

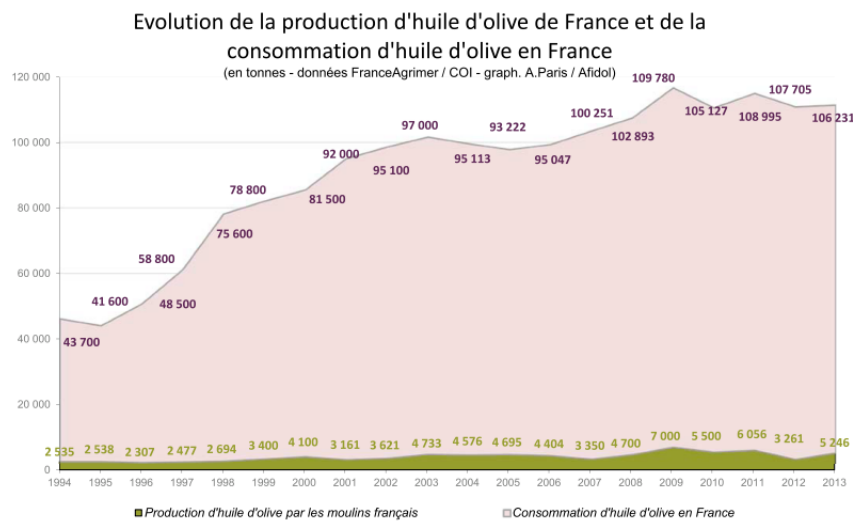


Figure n°89 : Evolution de la production et de la consommation d'huile d'olive en France par Paris Alexandra (231)

Certaines huiles sont utilisées froides et d'autres chaudes. Il est conseillé d'avoir au moins deux huiles différentes chez-soi. La première huile est pour l'assaisonnement à froid et la deuxième est pour la cuisson des aliments. Elles vont être choisies en fonction de leurs propriétés et de leurs goûts. Une huile qui mousse ou qui fume lors de la cuisson est une huile oxydée, elle ne doit pas être utilisée. Elle doit rester limpide et de couleur claire. Une huile oxydée va avoir perdu son intérêt nutritionnel mais en plus des composés non désirables vont apparaître. Certaines peuvent être chauffées alors que d'autres sont dégradées à la chaleur. Comment choisir les huiles qui vont nous servir en cuisine ?

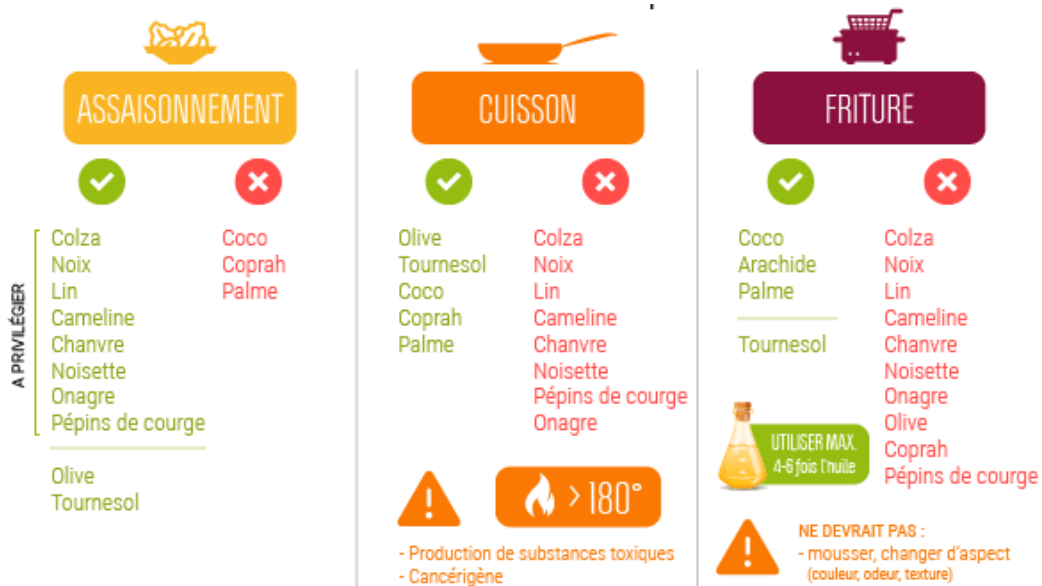


Figure n°90 : Les huiles en cuisine d'après Tag my food (277)

Attention : certaines huiles qui ont subi un raffinage important peuvent changer de catégorie d'où l'importance de l'étiquette. L'avantage de l'huile de tournesol est qu'elle peut être utilisée froide, chaude ou en friture, bien penser à changer régulièrement l'huile de friture. La deuxième huile est l'huile d'olive, excellente pour l'assaisonnement, elle peut être utilisée pour la cuisson mais est déconseillé pour les bains de friture. L'huile de cameline est très intéressante de par sa composition avec un ratio $\omega 6/\omega 3$ idéal. L'association de différentes huiles dans une vinaigrette peut atténuer un goût un peu fort et permet de profiter des effets bénéfiques des deux huiles.

Du fait de la dégradation liée à l'oxydation, les huiles n'auront ni le même temps ni les mêmes conditions de conservation. Certaines huiles ont besoin d'être conditionnées dans un flacon opaque, d'autres se conservent au réfrigérateur une fois la bouteille entamée. Par exemple, l'huile de colza peut être conservée à une température ambiante une fois la bouteille ouverte alors que l'huile de cameline est mise au réfrigérateur.

2. La pharmacie

Les huiles végétales entrent dans la composition de nombreux produits disponibles en officine. Cela peut être sous forme de gélules/comprimés pour des compléments alimentaires, dans des produits de cosmétologie ou en flacons. D'après le Parlement Européen (2002/46/CE) et le décret n° 2006-352 du 20 mars 2006 relatif aux compléments alimentaires (136), un complément alimentaire est défini comme une denrée alimentaire

dont le but est de compléter le régime alimentaire normal et qui constitue une source concentrée de nutriments ou d'autres substances ayant un effet nutritionnel ou physiologique seuls ou combinés, commercialisés sous forme de doses, à savoir les formes de présentation telles que les gélules, les pastilles, les comprimés, les pilules et autres formes similaires, ainsi que les sachets de poudre, les ampoules de liquide, les flacons munis d'un compte-goutte et les autres formes analogues de préparations liquides ou en poudres destinées à être prises en unités mesurées de faible quantité.

Le marché du complément alimentaire a un chiffre d'affaire global de 1,8 milliards d'euros avec une croissance moyenne de 4 à 6 % par an d'après le Syndicat National des Compléments Alimentaires (274). En France, il y a 10 millions de consommateurs.



Figure n°91 : Evolution du marché français des compléments alimentaires
d'après le Syndicat National des Compléments Alimentaires (274)

Pour l'instant, la majorité des compléments alimentaires sont vendus en pharmacie (cf. figure n°91). Les compléments alimentaires visent les personnes en bonne santé et qui ont envie de la garder. Quel que soit le complément alimentaire choisi, il ne faut pas l'associer avec un autre pour éviter tout risque de surdosage qui pourrait être néfaste pour l'organisme.

3. La cosmétologie

Les huiles végétales sont depuis très longtemps utilisées en usage externe notamment dans les produits de beauté. Les archéologues ont retrouvé des traces de leurs utilisations en Egypte ancienne. Il y avait une fiole contenant de l'huile de Nigelle appelé autrefois l'huile de cumin noir ou l'huile des pharaons dans le tombeau de Toutankhamon. Néfertiti et Cléopâtre l'auraient utilisée régulièrement.

Les Romains fabriquaient souvent eux-mêmes leurs propres parfums. Ils avaient besoin d'un excipient (généralement un corps gras d'origine végétale comme l'huile). En fonction de la recette, il pouvait utiliser de l'huile de sésame, de l'huile d'olive ou de l'huile de ricin.

Les huiles végétales vont être très utiles pour les personnes qui fabriquent eux-mêmes leurs cosmétiques. En fonction de l'action recherchée, telle ou telle huile est choisie. Les principales huiles utilisées sont : l'huile d'amande douce, l'huile d'argan, l'huile d'onagre ou l'huile de bourrache. Il faut faire attention à la qualité de l'huile qu'on utilise. L'huile d'amande douce permet de calmer les démangeaisons et les irritations. Elle a des propriétés assouplissante, émolliente et fortifiante (efficace sur les vergetures s'il y a une application matin et soir sur une durée prolongée). L'huile d'argan est idéale pour les peaux sèches, ridées ou déshydratées *via* ses propriétés raffermissante, nutritive, protectrice et cicatrisante. Elle peut être appliquée sur des cheveux secs ou des ongles cassants. L'huile de bourrache est très riche en AGPI, elle est intéressante pour régénérer la peau, la réhydrater, lui ramener du tonus et de l'élasticité. L'huile d'onagre est riche en acides gras essentiels qui participent à la construction des membranes cellulaires. Elle a des propriétés adoucissante, restructurante et antirides.

Le tableau ci-dessous réalisé par Collin Anne-Hélène d'après Baudoux « Les cahiers pratiques d'aromathérapie selon l'école française » tome 1 et 5, 2002 et 2006 (81) nous présente différentes huiles en fonction de leur site d'action et des exemples d'utilisation.

Site d'action	Huiles végétales adaptées	Exemples d'utilisations
Couche cornée	Argan, avocat, bourrache, olive, onagre, rose musquée	Mycoses Parasitose
Epiderme	Amande douce, argan, bourrache, jojoba, onagre, rose musquée	Psoriasis Eczéma
Derme	Abricot, macadamia, noisette, sésame	Urticaire Prurit
Hypoderme, muscle, synovie	Abricot, noisette, sésame	Tendinite, arthrose, congestions diverses
Circulation systémique	Pépin de raisin, tournesol	Infections, troubles organiques

Tableau n°36 : Les différentes huiles végétales en fonction de leur site d'action par Collin Anne-Hélène (81)

Certaines huiles peuvent traverser plusieurs couches de la peau alors que d'autres huiles vont être spécifiques d'une zone. Les huiles peuvent aussi être classées en fonction de leurs activités. Les huiles de carotte et de rose musquée sont des huiles « dermo cosmétiques » : l'huile de carotte permet d'illuminer le teint, l'huile de rose musquée va lutter contre l'apparition des rides. L'huile de calendula va être naturellement anti inflammatoire alors que les huiles d'argan ou d'onagre vont nourrir la peau.

Une autre classification est possible en fonction de la composition en AG et de leurs ratios. Une huile avec un rapport $\omega 6/\omega 3$ faible va être apaisante et conseillée pour les peaux sensibles comme l'huile de rose musquée. Avec un ratio $\omega 6/\omega 9$ important, l'hydratation de la peau est favorisée *via* un meilleur ciment intercellulaire. En ce qui concerne la composition générale en AG, il y a des huiles riches en acides gras insaturés et celles riches en acides gras saturés. Une huile avec une forte proportion d'AGS va amener une barrière protectrice à la peau. Les AGPI vont donner un pouvoir pénétrant à l'huile. La présence des AGMI va donner une huile avec des propriétés assouplissantes et nourrissantes comme avec l'huile d'avocat.

Petites astuces : pour se démaquiller les yeux et/ou le visage, l'huile d'amande douce ou de jojoba sont efficaces même sur le mascara waterproof. Un massage avec une huile d'avocat, de rose musquée ou d'onagre va apaiser l'épiderme, le calmer et le régénérer en cas de coup de soleil.

4. Les biocarburants

D'après la définition de la directive 2009/28/CE (102) ; le biocarburant est « un combustible liquide ou gazeux utilisé pour le transport et produit à partir de la biomasse » ou d'après le ministère de la transition écologique et solidaire (212) : « les biocarburants sont des carburants de substitution obtenus à partir de la biomasse (matière première d'origine végétale, animale ou issue de déchets) ». Il existe deux filières : les biocarburants essence et les biocarburants gazole (nommés aussi biodiesel).

Nous les utilisons déjà sans le savoir puisqu'ils sont parfois incorporés aux carburants traditionnels dans de faibles proportions. En 2017, dans le gazole, il y avait 7,7 % de biocarburants et 7,5 % dans l'essence. En 2006, en France, la moitié des carburants diesel ou essence contenait environ 3 % d'huile d'origine végétale. Les biocarburants de première génération sont représentés sur la figure n°92.

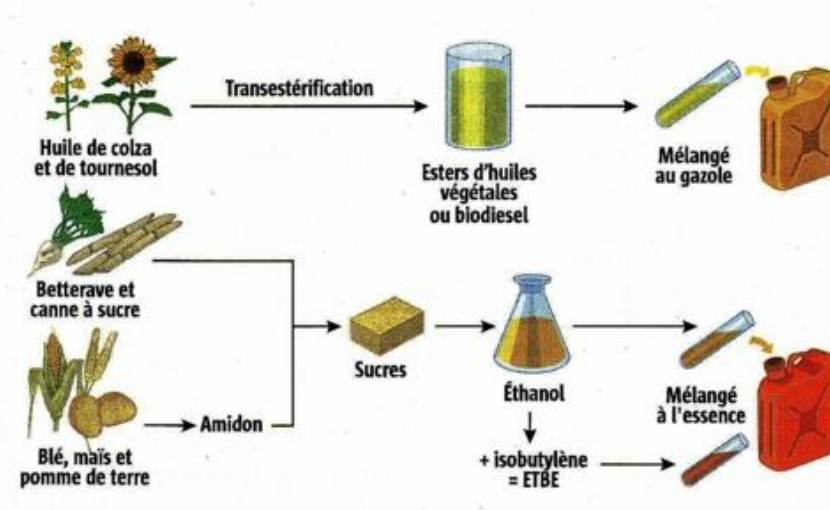





Figure n°92 : Les biocarburants de première génération d'après Energie online (110)

Trois alcools sont essentiellement retrouvés dans les biocarburants : l'éthanol, le butanol et le méthanol. Le plus utilisé est l'éthanol et il est destiné aux moteurs à essence. Il est produit à partir :

-  de betteraves en Europe
-  d'avoine et de maïs aux Etats-Unis
-  de canne à sucre au Brésil

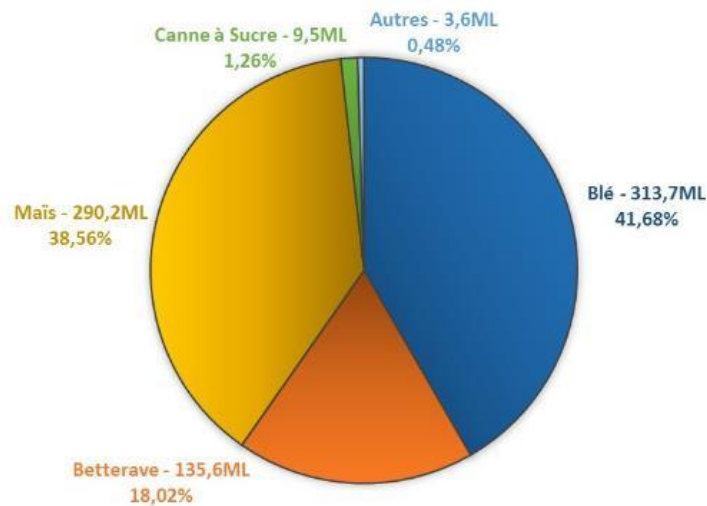


Figure n°93 : Les origines de l'éthanol utilisé en 2017 en France
d'après ministère de la transition écologique et solidaire (212)

Il est à noter que 50 % des matières premières qui ont permis l'extraction de l'éthanol sont cultivés en France.

Il y a plusieurs types de biocarburants : l'huile végétale brute (HVB), le biodiesel, les alcools... C'est dans la catégorie des HVB qu'on retrouve l'huile de colza et de tournesol. On les nomme parfois huiles végétales carburant (HVC). Elles sont acceptées par une majorité de moteur diesel après avoir fait quelques modifications pour une utilisation pure. Cette utilisation est homologuée par l'Etat seulement pour les engins agricoles dans une exploitation auto-productrice. En revanche, en Allemagne, l'huile végétale carburant se trouve dans des stations-services. En théorie, toutes les huiles pourraient être utilisées sauf l'huile d'olive, son prix étant trop élevé.

Le biodiesel correspond à de l'huile végétale brute modifiée chimiquement. Cette modification lui permet de ne pas se figer quand il fait froid. Il peut être produit à base de colza, de noix de coco, de palme...



Figure n°94 : Les Esters méthyliques d'Huile Végétale (EMHV) ou biodiesel
d'après le ministère de la transition écologique et solidaire (212)

L'huile végétale va être mélangée avec de l'alcool (en général le méthanol) pour obtenir un EMHV (Ester Méthylque d'huile Végétale) : c'est la première option. La deuxième option consiste à hydrotraiter l'huile. Il pourra ensuite être incorporé dans le gazole. Les avantages du biodiesel sont : matières premières renouvelables avec une teneur en soufre plus faible, un point de flamme supérieur, une toxicité réduite et une réduction des émissions d'échappement. Il y a des inconvénients comme la stabilité du stockage, le prix élevé de certaines huiles et pour l'instant, une qualité qui est souvent inférieure à un carburant classique.

Une des problématiques des premières générations de biocarburants vient du fait que les plantes utilisées pour créer les biocarburants sont aussi des plantes qui nourrissent la population, or la population mondiale augmente alors que les surfaces agricoles diminuent. Ceci pourrait avoir comme conséquence, dans le futur, des problèmes de malnutrition. Une des solutions est la mise au point des biodiesels de deuxième génération (cf. figure n°95). Ils sont produits à partir d'oléagineux qui ne rentrent pas en concurrence avec la nourriture humaine comme le *Ricinus communis* (le ricin).

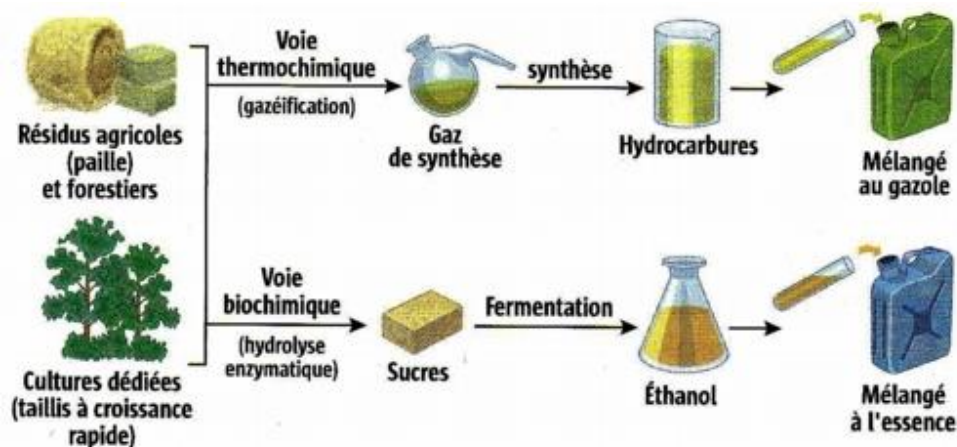


Figure n°95 : Les biocarburants de deuxième génération d'après Energie online (110)

Une troisième génération de biocarburants est en développement à partir des microalgues (cf. figure ci-dessous).



Figure n°96 : Les biocarburants issus de microalgues d'après IFP Energies nouvelles (159)

Une quatrième génération de biocarburants est aussi en développement.

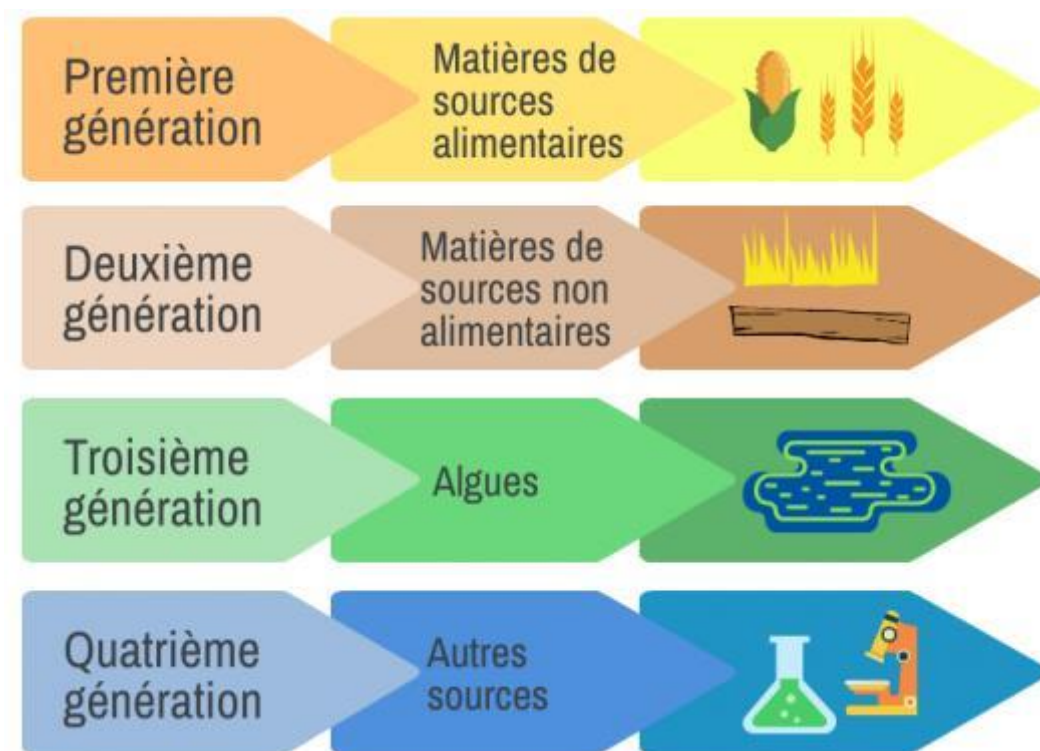


Figure n°97 : Les quatre générations de biocarburants d'après Gunathilake Damitha et Parlons sciences (142)

5. Autres

- La production d'huile végétale donne des tourteaux. Les tourteaux servent à la nourriture animale. Ils sont plus présents dans la nourriture des bovins que dans celle de la volaille.

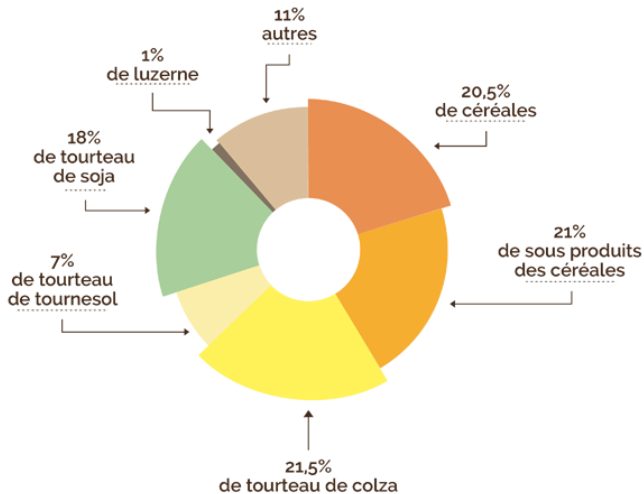


Figure n°98 : Les différents tourteaux que mangent les bovins en France en 2013/2014 d'après Terres Univia (284)

En France, d'après le modèle prospectif Aliment du Céréopa pour la campagne 2013/2014, les bovins sont nourris pour environ 46,5 % de tourteaux.

Les tourteaux sont sources de protéines, de vitamines et de sels minéraux. Les pourcentages varient en fonction de leurs origines. Ils permettent d'augmenter la rentabilité de la graine.

La production en Europe dépasse les 20 millions de tonnes chaque année. La France est le premier pays consommateur devant l'Allemagne et l'Espagne.

🌱 Certaines huiles végétales peuvent être incorporées au sein de peintures. Par exemple, l'huile de tournesol est utilisée dans les peintures avec une base végétale comme l'huile de soja. Elles sont retrouvées dans des encres en tant que biosolvants. Les encres seront utilisées dans les secteurs de l'emballage et de l'édition.

H. Quelques exemples d'huiles végétales

Un très grand nombre d'agriculteurs cultivent des plantes oléagineuses. D'après la DGCCRF (Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes), « l'Union Européenne est le premier importateur mondial de graines oléagineuses, le premier importateur et consommateur de tourteaux » (99).

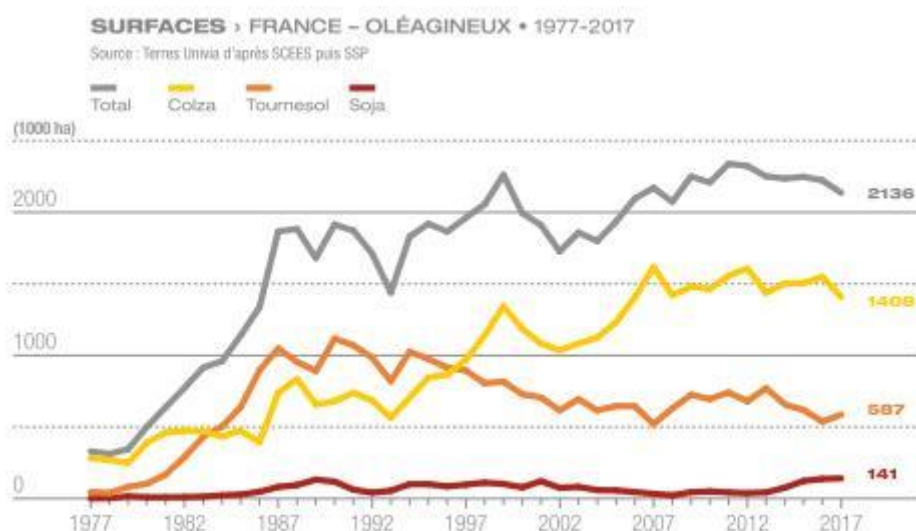


Figure n°99 : Evolution de la surface de culture de colza, tournesol et soja entre 1977 et 2017 en France par Terres Univia (286)

La production en France des principaux oléagineux (colza, tournesol et soja) est passée d'un peu moins de 1 000 000 hectares en 1977 à environ 2 136 000 hectares en 2017 soit plus du double (cf. figure n°99). Dans les années 1980, la première plante était le tournesol et depuis le début des années 2000, c'est le colza qui a pris la place. C'est d'ailleurs la quatrième plante la plus cultivée par les agriculteurs.

Pour les années 2017 et 2018, en France métropolitaine, les données pour la superficie développée, le rendement et la production récoltée sont réunies dans le tableau n°37 pour les olives et le tableau n°38 pour les oléagineux.

Cultures fruitières											
Fruits	Superficie développée			Rendement		Production récoltée des vergers purs et associés			Production dirigée vers la transformation		
	(ha)		Indice	(100kg/ha)		(tonne)			(tonne)		
	2017	2018		2017	2018	2017	2018	Indice	2017	2018	Indice
Olives (pour la bouche et à l'huile)	17 384	17 395	100,1	13	15	22 132	26 036	117,6	21 938	25 553	116,5

Tableau n°37 : Les données pour la superficie développée, le rendement et la production récoltée pour les olives d'après Agreste (13)

Cultures	Superficie développée (ha)			Rendement (100 kg/ha)		Production récoltée (tonne)		
	2017	2018	Indice 18/17	2017	2018	2017	2018	Indice 18/17
Oléagineux (y c. semences)								
Colza d'hiver (et navette)	1 399 346	1 614 716	115,4	38	31	5 309 976	4 975 178	93,7
Colza de printemps (et navette)	2 097	1 873	89,3	35	29	7 401	5 359	72,4
Total colza (et navette)	1 401 443	1 616 589	115,4	38	31	5 317 377	4 980 537	93,7
Tournesol	586 225	552 073	94,2	27	22	1 598 972	1 239 080	77,5
Soja	141 829	153 853	108,5	29	26	415 202	398 481	96,0
Lin oléagineux	29 116	24 757	85,0	19	19	54 730	45 835	83,7
Autres oléagineux	10 448	10 090	96,6	20	16	21 309	16 258	76,3
Total oléagineux	2 169 061	2 357 362	108,7	34	28	7 407 590	6 680 191	90,2

Tableau n°38 : Les données pour la superficie développée, le rendement et la production récoltée pour les oléagineux d'après Agreste (13)

Les deux tableaux nous montrent une augmentation de la superficie sauf pour le tournesol et le colza de printemps. En ce qui concerne la production récoltée, elle a diminué sauf pour les olives. Une des explications envisageables sont les conditions climatiques : des chutes de grêles ou un gel tardif vont diminuer le rendement malgré un développement des terres agricoles pour ces cultures. Les données étant seulement sur deux années, il est difficile de conclure.

En 2017, dans l'Union Européenne, la France est le premier producteur d'oléagineux devant l'Allemagne et la Roumanie. Pour l'huile d'olive par exemple, c'est l'Espagne qui est le plus gros producteur en Europe avec environ 68 % de la production sur l'année 2016-2017.

La production biologique

Les huiles végétales peuvent provenir d'une agriculture biologique ou non, pour le savoir, il faut regarder s'il y a un label agriculture biologique sur la bouteille. Il existe une très grande variété de labels. Les principaux sont réunis dans le tableau n°39.

 <p>Agriculture biologique</p> <p>Label français. Marque officielle du ministère de l'Agriculture. Certifie la conformité avec le label européen d'agriculture bio.</p>	 <p>Label européen agriculture biologique</p> <p>Label européen. Obligatoire sur les produits pré-emballés de l'UE et facultatif pour les pays tiers attribué aux produits contenant 95 % de bio.</p>	 <p>Bio Cohérence</p> <p>Label français. Créé en complément du label européen, jugé trop laxiste.</p>	 <p>Nature et Progrès</p> <p>Label français. Délivré par une fédération de consommateurs et de professionnels du bio, en complément du label européen.</p>	 <p>Demeter</p> <p>Label international. Certification de produits issus de l'agriculture biodynamique.</p>	 <p>ECO CERT COSMÉTIQUE ÉCOLOGIQUE</p> <p>Le plus important organisme français de contrôle et de certification des produits bio.</p>	 <p>Qualité France</p> <p>Logo d'un des six organismes indépendants de contrôle et de certification en agriculture bio</p>	<p>SYSTÈMES PARTICIPATIFS DE GARANTIE</p> <p>Système de contrôle collectif créé par la fédération Nature et Progrès.</p>
---	---	---	--	--	---	--	---

Tableau n°39 : Les labels biologiques d'après ça m'intéresse & vivre mieux (62)

En ce qui concerne la production biologique, elle est beaucoup plus faible comme illustré par la figure suivante.

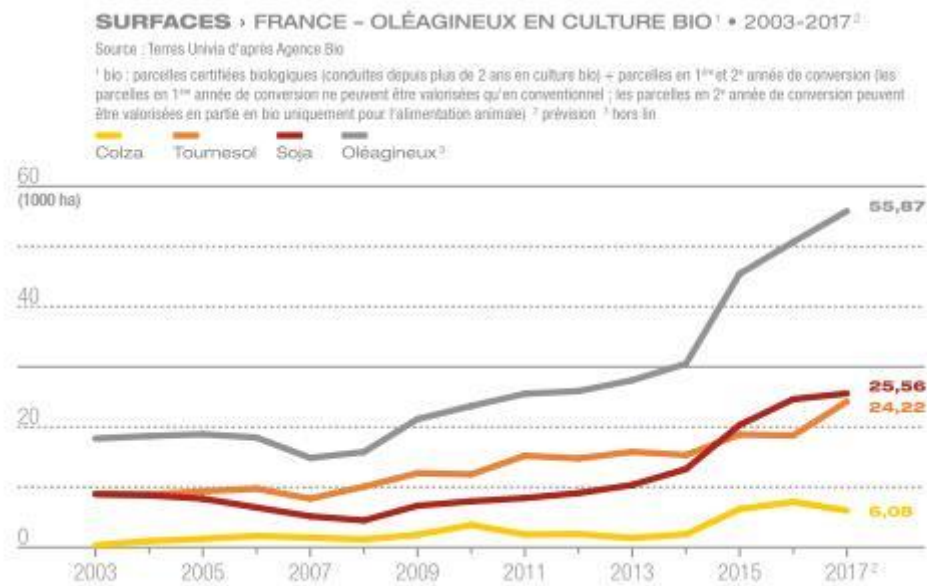


Figure n°100 : Evolution de la surface cultivée en agriculture biologique de colza, tournesol et soja entre 2003 et 2017 en France par Terres Univia (286)

De 2003 à 2010, la production biologique est stable (environ 20 000 hectares), mais depuis elle a bien progressé pour arriver à 55 870 hectares en 2017 (là aussi, la production a doublé).

La France possède différents climats et en fonction de l'endroit où les terres agricoles sont situées, certaines plantes sont adaptées et d'autres non. Les cartes ci-dessous nous montrent où sont principalement cultivées le colza, le tournesol, le soja et le lin oléagineux.

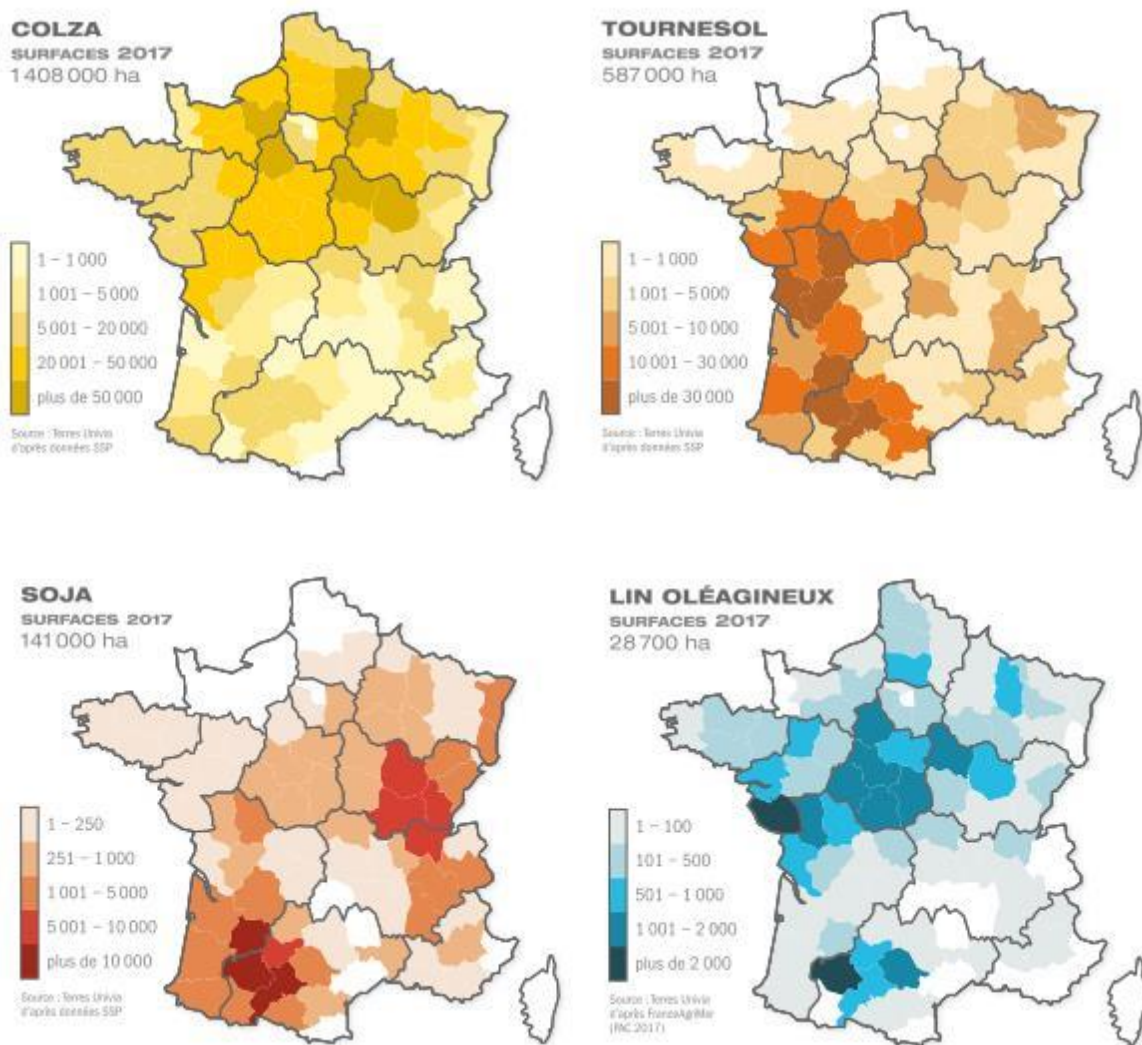


Figure n°101 : Cartes de France des régions qui cultivent le colza, le tournesol, le soja et le lin en 2017 par Terres Univia (286)

Par exemple en Normandie, le colza est la première culture, ensuite le tournesol, un peu de lin mais pas de soja. Les quatre plantes évoquées sur la figure n°103 sont très peu produites sur le pourtour méditerranéen, le climat étant défavorable.

Un point important pour l'agriculture est la disponibilité des terres ou plus globalement de la superficie agricole utilisée (SAU). D'après l'Insee (Institut national de la statistique et des études économiques) (161), la SAU « est une notion normalisée dans la statistique agricole européenne. Elle comprend les terres arables (y compris pâturages temporaires, jachères, cultures sous abri, jardins familiaux...), les surfaces toujours en herbe et les cultures permanentes (vignes, vergers...). »

La surface totale du globe terrestre est de 51 milliards d'hectares mais seul 3 % sont disponibles pour les cultures. En France, la SAU est équivalente à environ 29 millions d'hectares, soit 54 % du territoire agricole. Les terres arables représentent 62 %, les surfaces en herbe 34 % et les cultures pérennes 4 %.

Les scientifiques cherchent des espèces avec un meilleur rendement puisque la population mondiale augmente alors que les superficies agricoles diminuent. Le territoire français métropolitain correspond à environ 55 millions d'hectares.

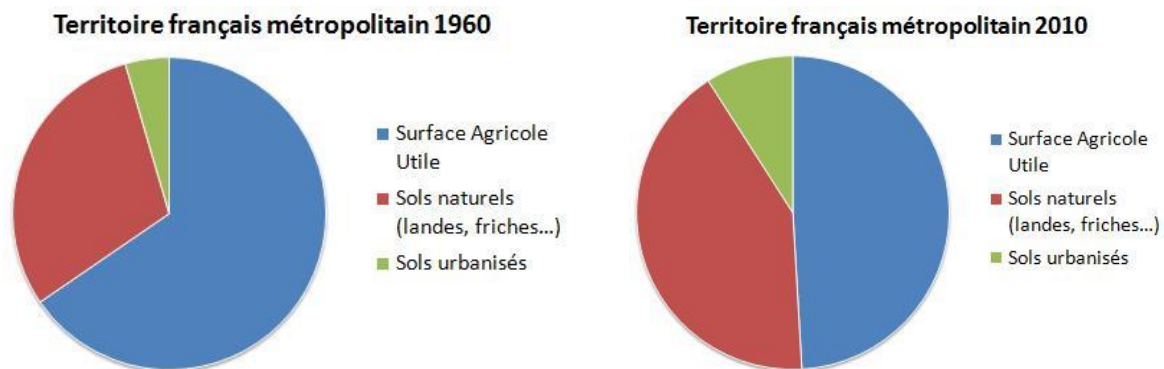


Figure n°102 : La disponibilité des sols en France en 1960 et 2010
d'après le mouvement pour une organisation mondiale de l'agriculture (220)

En France, la surface disponible pour l'agriculture entre 1960 et 2010 est passée de 36 à 27 millions d'hectares soit une perte de 25 %. Les sols urbanisés sont passés de 2,5 à 5 Mha et les sols naturels se sont développés (de 16,5 à 23 Mha).

Nous allons présenter les principales huiles végétales cultivées en France.

1. L'huile de colza

Le colza est la première plante oléagineuse cultivée en France.

C'est une plante issue d'un croisement entre un chou et une navette (ancienne plante qui ressemble à un navet). Le nom colza viendrait du néerlandais « *kool-zaad* » qui veut dire « graine de chou ». Des références au colza ont été trouvées dans des textes sanskrits datant de 2 000 à 1 500 avant Jésus-Christ et des textes situés à l'époque gréco-romaine.

L'huile est obtenue à partir des graines de plusieurs espèces : *Brassica napus* L, *Brassica campestris* L, *Brassica juncea* L et *Brassica tournefortii* Gouan.

Il y a environ 42 à 43 % d'huile dans les graines.



Figure n°103 : Les graines de colza par Huiling (157)

Le colza fait partie de la famille des Brassicacées comme par exemple le chou vert. Les graines sont obtenues lors de la récolte en juillet (cf. figure n °104). C'est une huile peu chère et c'est la plus utilisée en France.

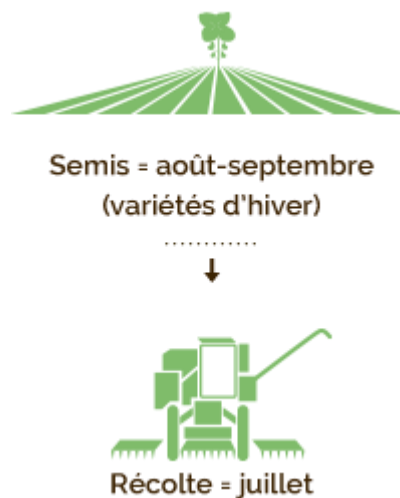


Figure n°104 : La saisonnalité du colza par Terres Univia (291)

Au Canada et dans d'autres pays, l'huile de colza se nomme parfois l'huile de canola. Pour se servir du terme « canola », une plante oléagineuse doit respecter la norme suivante : « Les graines du genre *Brassica* (*Brassica napus*, *Brassica rapa* ou *Brassica juncea*) dont la partie huileuse contient moins de 2 % d'acide érucique dans son profil d'acides gras et dont la partie solide contient moins de 30 μ moles de 3-buténylglucosinolate, de 4-penténylglucosinolate, de 2-hydroxy-3-buténylglucosinolate ou de 2-hydroxy-4-penténylglucosinolate, ou d'un mélange de ceux-ci, par gramme de solides exempts d'huile

et séchés à l'atmosphère ambiante. » d'après Canola Council of Canada (64). En 1977, l'huile de colza à faible teneur en acide érucique a été introduite comme huile comestible en Europe.

Les graines de colza sont utilisées dans de nombreux domaines comme l'illustre la figure suivante.

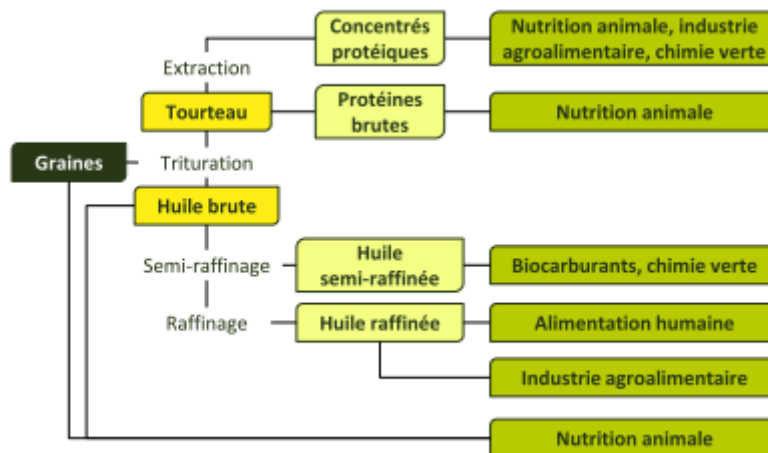


Figure n°105 : Diversité des débouchés du colza en France par Bellamy et Charbonnier (46)

L'huile obtenue peut servir à l'alimentation humaine, mais aussi dans le domaine des biocarburants ou de l'industrie agroalimentaire (comme tensio-actifs ou lubrifiants).

a) Composition de l'huile

Pour réaliser 420 kg d'huile brute de colza, il faut une tonne de colza trituré. On obtiendra 560 kg de tourteaux qui pourront servir à l'alimentation animale.

L'huile de colza est de couleur jaune clair, semi-siccative et d'odeur caractéristique. Elle a encore aujourd'hui parfois une mauvaise image puisque dans le passé, on utilisait une variété riche en acide érucique qui entraîne une accumulation de graisses au niveau du cœur. Aujourd'hui, la variété utilisée est pauvre en cet acide mais riche en AGMI ω 9, en AGPI ω 3 et en AGPI ω 6 (cf. figure n°106).

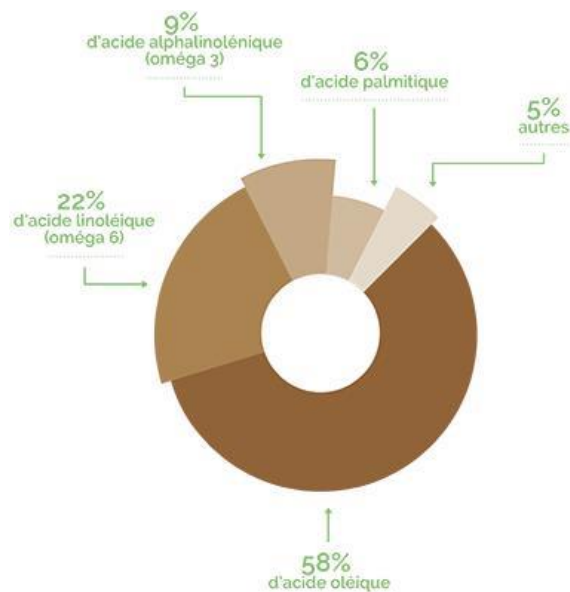


Figure n°106 : Composition de l'huile de colza en acides gras par Terres Univia (291)

D'après la table de Ciqual, voici la composition de l'huile de colza pour une moyenne de 100 g (29) avec une valeur nutritionnelle de 3700 kJ.

Protéines	0 g	Sélénium	< 10 mg	Lipides	100 g
Glucides	0 g	Vitamine E	27,7 mg	AGS	7,26 g (6,22 – 7,65)
Cendres	0,0000 54 g	Vitamine K1	71,3 µg	AGMI	59,7 g (55,5 – 63,3)
Calcium	< 2,57 mg	Zinc	0,026 mg	AGPI	26,9 g (25 – 33,3)
Cuivre	0,0052 mg	Sodium	< 1,11 mg	Acide laurique	0,12 g (0,1 – 0,19)
Fer	0,023 mg	Manganèse	< 0,0015 mg	Acide myristique	0,072 g (0,048 – 0,096)
Potassium	< 0,81 mg	Magnésium	< 0,58 mg	Acide palmitique	4,52 g (3,74 – 5)
				Acide oléique	55,2 g (48,4 – 62,4)
				Acide linoléique	19,4 g (18,2 – 24,2)
				Acide α-linolénique	7,54 g
				Acide stéarique	1,65 g (1,3 – 2,13)

Tableau n°40 : Composition de l'huile de colza pour 100g d'après Ciqual (29)

Propriétés de l'huile de colza vis-à-vis des lipides

Un article de 2013 de Lin *et al.* (195) a fait une synthèse de plusieurs études qui se sont intéressées à l'huile de colza. Les chercheurs sont d'accord sur le fait que l'huile de colza aide à réduire le taux de triglycérides en moyenne de 12,2 % (6,7 à 20,1 % en fonction des études) si elle est incorporée dans un régime alimentaire occidental classique. Pour tester la diminution du taux de triglycérides, de nombreuses études remplacent une partie des AGS de l'alimentation qu'il soit d'origine animale mais aussi végétale comme l'huile de palme ou de coco par de l'huile de colza. Il en est de même pour le taux de LDL-cholestérol qui a diminué lors du changement de régime. Les réductions vont de 11,1 à 25,2 %. Elles vont dépendre de plusieurs facteurs dont la durée de l'étude et le type de participants (personnes avec un taux de cholestérol normal, élevé...). La grande majorité des études n'ont pas observé de différence significative en ce qui concerne le HDL-cholestérol.

Le but de l'étude de Liu *et al.* (196) réalisée en 2016 avait pour objectif d'évaluer cinq mélanges d'huiles végétales (teneur en AGMI et AGPI variables) sur la possibilité de modification corporelle (obésité abdominale) et sur les facteurs de risques cardiovasculaires chez des personnes ayant un syndrome métabolique ou des risques de l'avoir. Ils ont recruté 130 volontaires dans trois universités différentes du Canada, à la fin de l'étude, seules 101 personnes ont été éligibles. Tous les participants devaient souffrir d'obésité abdominale (tour de taille supérieur à 94 cm pour les hommes et 80 cm pour les femmes). En revanche, ils n'avaient pas de traitement médicamenteux. Les chercheurs leur ont demandé de suivre un régime américain classique avec 50 % de glucides, 35 % de lipides (dont 18 % proviendraient des huiles) et 15 % de protéines. L'huile était incorporée dans des smoothies que les participants consommaient deux fois dans la journée. Les 5 groupes d'individus ont chacun testé un seul des types d'huiles suivants :

- Une huile de colza classique (1),
- Une huile de colza oléique (2),
- Une huile de colza riche en acide oléique et en DHA (acide docosahexaénoïque) (3),
- Un mélange huile de maïs/huile de carthame (4)
- Et un mélange huile de lin/huile de carthame (5).

Une huile de colza oléique est une huile de colza avec un taux d'acide oléique entre 65 et 80 %. Chez les groupes « huile de colza » et « huile de colza oléique », il a été observé une diminution de la masse grasseuse au niveau abdominal d'environ 0,3 kg ainsi qu'une réduction de la pression artérielle.

Seul le groupe « huile de colza oléique » a, quant à lui, vu son taux de triglycérides réduit. Ceci nous aide à comprendre pourquoi l'huile de colza enrichie en acide oléique s'est développée alors que l'huile de colza enrichie en DHA ne s'est pas développée et qu'il a été préférable de chercher d'autres huiles qui contiendraient naturellement une forte teneur en DHA et en AGPI $\omega 3$. Pour les autres groupes, il n'y a pas eu de changement significatif.

L'étude de Saedi *et al.* (255) réalisée en 2017 a pour objectif de savoir si l'huile de colza ou/et l'huile de tournesol ont un impact sur une dyslipidémie. Les chercheurs ont étudié l'impact des deux huiles chez 96 participants qui avaient une dyslipidémie (taux de LDL-C élevé, réduction du HDL-C et une augmentation des triglycérides). Aucun volontaire ne prenait de médicaments hypolipidémifiants. Ils ont été séparés en deux groupes : l'un avec l'huile de colza et le deuxième avec l'huile de tournesol. L'étude a duré six mois. Les résultats sont les suivants : la concentration en cholestérol total a diminué significativement dans les deux groupes mais sans différence significative entre les groupes. Ceci est aussi valable pour la concentration en triglycérides, en cholestérol LDL et HDL (cette dernière ayant augmenté). Cette étude nous permet de dire que l'huile de colza et l'huile de tournesol sont intéressantes pour aider à améliorer les paramètres lipidiques.

b) Utilisation de l'huile

L'huile de colza possède un ratio $\omega 6/\omega 3$ entre 2 et 3, c'est donc une huile intéressante pour équilibrer la ration lipidique. Elle peut être utilisée pour assaisonner des crudités mais attention à la cuisson, altération de l'huile à partir de 150 °C.

Ce n'est pas l'huile la plus connue en cosmétologie, mais elle permet d'hydrater la peau, faire des masques.... Son odeur plutôt agréable lui permet d'être utilisée pour réaliser un massage. Celui-ci va hydrater et relaxer le corps. Le massage peut être fait sur le cuir chevelu pour favoriser la microcirculation et aérer la chevelure (lui apportant ainsi souplesse et brillance). Attention, une huile alimentaire qui n'est plus bonne ne doit pas être utilisée comme une huile cosmétique, elle pourrait abîmer la peau.

2. L'huile de tournesol

Le tournesol est riche en huile à hauteur de 44 - 45 %. Elle est préparée à partir des graines de tournesol (*Helianthus annuus* L.) qui sont récoltées en septembre (cf. figure n°110).



Figure n°107 : Les graines de tournesol par Huiling (157)

Le tournesol fait partie de la famille des Astéracées. Son nom vient du grec *Helios* qui signifie soleil et *Antho* qui se traduit par fleur. Le tournesol a été introduit en Europe par les Espagnols de retour des Amériques. Les Amérindiens cultivaient la forme sauvage pour se nourrir mais aussi pour se soigner dès 2 300 avant Jésus-Christ.

Toutes les fleurs sont orientées dans la direction du soleil levant (voire sud-est). Malgré son nom en français et en italien « girasole », cette plante ne tourne pas en suivant le soleil. Cette idée reçue provient du fait que, sur une courte période, les jeunes tournesols ont une croissance très rapide. C'est en fait la tige qui se courbe en fonction de la lumière. Une hormone, l'auxine permet la croissance de la tige et l'élongation des cellules (sa concentration est liée à la lumière ainsi un côté va croître plus vite que l'autre en fonction de l'exposition lumineuse).



Figure n°108 : L'évolution de la tige en fonction du soleil d'après Couleur science (88)

Les parties non éclairées de la plante ont des concentrations plus importantes en inhibiteurs de l'auxine.

En France, sa production a réellement explosé à partir du début des années 1980 comme illustré sur le graphique ci-dessous.

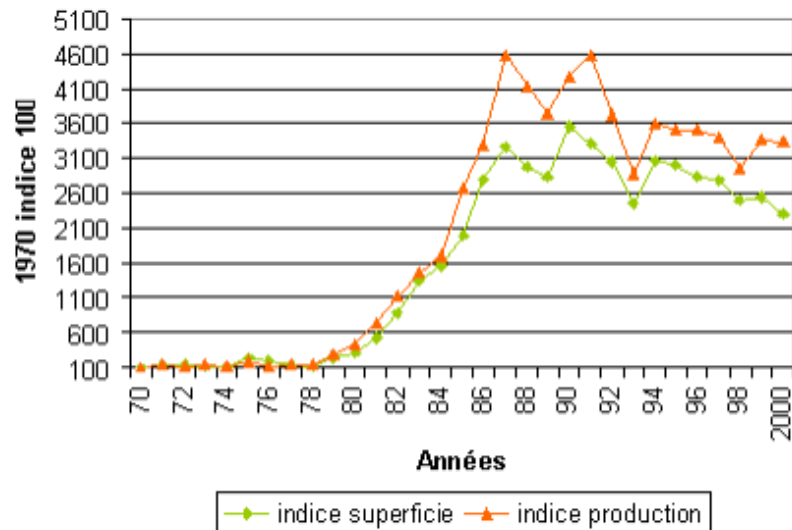


Figure n°109 : Evolution des surfaces et productions de tournesol en France (données Agreste),
 indice 100 = 32 100 ha, 56 800 tonnes par le département Ager (96)

Jusqu'au milieu des années 1980, la ligne production et la ligne superficie sont très proches voir superposées et après la ligne production s'éloigne. La production devient plus importante que la superficie avec le développement d'espèces plus productives et donc normalement plus rentables.

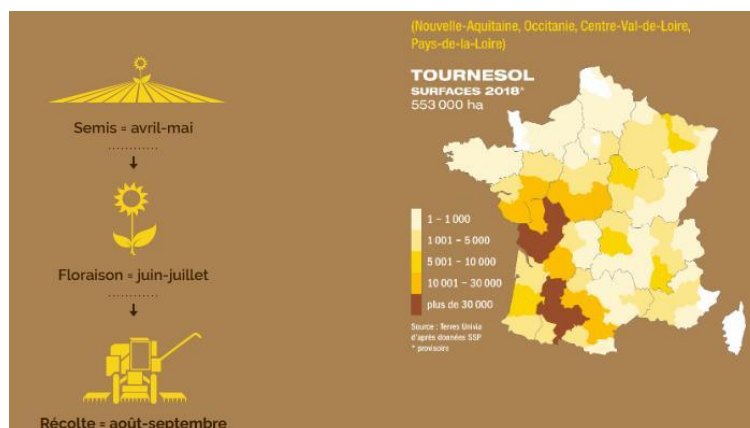
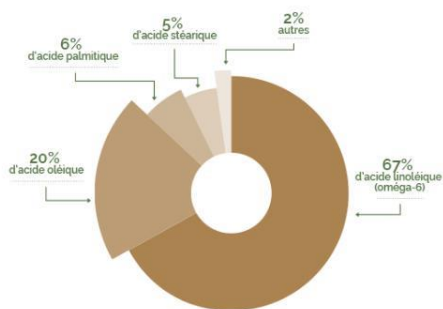


Figure n°110 : La saisonnalité du tournesol et les principales régions de productions en France
 d'après Terres Univia (293)

a) Composition de l'huile

Il convient de rappeler qu'il existe deux types d'huiles de tournesol. La première huile est l'huile oléique avec une teneur en acide oléique de 82 % et la deuxième, l'huile linoléique ou l'huile « classique » avec une teneur en acide linoléique d'environ 60 %. Les industriels ont développé cette huile oléique, plus riche en AGPI $\omega 9$ qu'en AGPI $\omega 6$. Cette sélection a pour objectif d'en améliorer la stabilité thermique et d'augmenter sa résistance à l'oxydation. Pour les nouvelles variétés (cf. figure n°111), il y a une variation du taux d'acide oléique compris entre 15 et 25 % à un taux de 80 à 90 %. D'ailleurs, les premiers essais pour améliorer les performances de la plante ont commencé en Russie et notamment avec Soldatov en 1976 qui a essayé de sélectionner des espèces à haute teneur en acide oléique. Certaines huiles de tournesol à haute teneur en acide oléique sont plus riches que l'huile d'olive qui est la représentante des huiles mono-insaturées riche en $\omega 9$.

LA COMPOSITION EN ACIDE GRAS
DE L'HUILE DE TOURNESOL « CLASSIQUE »



LA COMPOSITION EN ACIDE GRAS
DE L'HUILE DE TOURNESOL « OLÉIQUE »

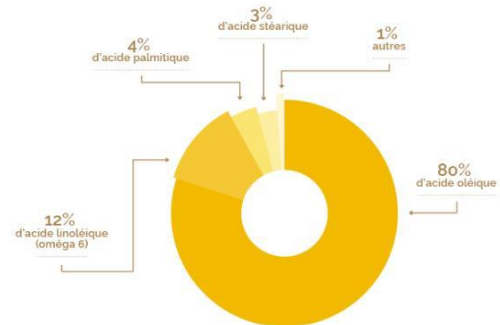


Figure n°111 : Composition en acides gras de l'huile de tournesol « classique » versus huile de tournesol « oléique » par Terres Univia (293)

D'après Ciqual (29), voici la composition de l'huile de tournesol pour 100 grammes avec une valeur nutritionnelle de 3 700 kJ.

Protéines	0 g	Sélénium	< 10 mg	Lipides	100 g
Glucides	0 g	Vitamine E	58,3 (33,2 – 90) mg	AGS	10,9 g (9,56 – 11,5)
Cendres	0,0000 26 g	Vitamine K1	5,4 (1 -10) µg	AGMI	30,8 g (19,1 – 55)
Calcium	< 2,57 mg	Vitamine B9 ou folates totaux	0 (1 pour le maximum) µg	AGPI	54,5 g (33,5 – 66)
Cuivre	0,0042 mg	Sodium	< 1,11 mg	Acide laurique	< 0,049 g
Fer	0,019 mg	Manganèse	0,0022 mg	Acide myristique	0,057 g
Potassium	< 0,81 mg	Magnésium	< 0,58 mg	Acide palmitique	6,04 g (5,26 – 6,3)
				Acide oléique	29,4 g (22 – 54,6)
				Acide linoléique	54,4 g (62 maximum)
				Acide α- linoléique	0,0075 g (0,2 maximum)
				Acide stéarique	3,57 g (3,5 – 4,5)

Tableau n°41 : Composition de l'huile de tournesol pour 100 g d'après Ciqual (29)

Le tableau nous montre que la teneur en acide oléique varie énormément : de 54,4 g à 62 g. Elle est cependant une très bonne source de vitamine E (avec plus de 80 % d'α-tocophérol).

L'huile possède une teneur élevée en phytostérols avec essentiellement le β-sitostérol (60 %), le stigmastérol et le campestérol. Les phytostérols ayant des propriétés hypocholestérolémiantes comme vu précédemment.

b) Utilisation de l'huile

L'huile de tournesol est l'une des huiles les plus utilisées en cuisine. Il est conseillé de la garder pour la cuisson et d'utiliser une autre huile pour les vinaigrettes.

L'un des gâteaux les plus simples a comme ingrédient l'huile de tournesol ou l'huile de colza, il s'agit du fameux gâteau au yaourt (207). La recette nécessite :



Figure n°112 : Le gâteau au yaourt
d'après Maximo (207)

Ingrédients :

1 yaourt nature

2 pots de sucre

3 pots de farine

3 œufs

1 sachet de levure chimique

1 pot d'huile de tournesol

Dans un saladier, tous les ingrédients sont versés, puis mélangés et enfin transvasés dans un plat qui est enfourné à 180°C environ 35 min. Le gâteau peut-être une astuce pour faire découvrir les huiles aux enfants qui parfois n'aiment pas les crudités.

Cette huile est aussi utilisée dans les biocarburants mais il est parfois nécessaire de faire des adaptations pour s'en servir. En industrie, des dérivés de l'huile sont utilisés comme tensio-actif ou lubrifiant.

En cosmétologie, l'huile de tournesol est régulièrement utilisée. Elle va assouplir et adoucir la peau ainsi que les muqueuses. Elle convient parfaitement pour les peaux sèches, déshydratées et/ou sensibles. Lors de soin pour les cheveux, elle va s'adsorber à la surface de la cuticule ce qui donnera de la brillance et diminuera la friction. Elle peut être incorporée directement dans son shampoing ou dans son après-shampoing (une ou deux gouttes suffisent). Certaines marques l'utilisent comme véhicules pour leurs principes actifs, elle est présente dans différents produits qui vont de la crème pour les mains au contour des yeux raffermissant.

3. L'huile d'olive

Parmi les nombreuses légendes grecques, il y a celle de l'olivier. La déesse Athéna (Minerve chez les romains) et le dieu Poséidon (Neptune chez les romains) se battaient pour la protection d'une nouvelle cité. Zeus pour les départager et savoir qui assurerait la protection de cette cité leur a demandé, à chacun d'offrir un cadeau à l'humanité. La déesse Athéna offrait aux citoyens l'olivier qui représente la prudence, la sérénité et la paix et Poséidon un cheval représentant, lui, la force, le courage et la guerre. Le peuple de la ville a préféré le cadeau d'Athéna. Pour lui rendre hommage, la ville s'est donc appelée Athènes.



Figure n°113 : « La dispute de Minerve et de Neptune au sujet d'Athènes » :
Tableau de Blondel Merry Joseph de 1821 (51)

Lors des Jeux olympiques antiques, un prix est remis le dernier jour des jeux devant le temple de Zeus : il s'agit d'une couronne avec des feuilles d'olivier. La couronne est remise au vainqueur du pentathlon (lancer du disque, lancer du javelot, saut en longueur, course et lutte). L'olivier reste un symbole de la paix, de la prospérité et de la longévité.



Figure n°114 : La couronne d'olivier est remise au vainqueur d'après le livre scolaire (192)

L'olive (*Olea europaea*) provient d'un arbre : l'olivier. Celui-ci fait partie de la famille des Oléacées. La composition d'une olive verte est présentée ci-dessous.

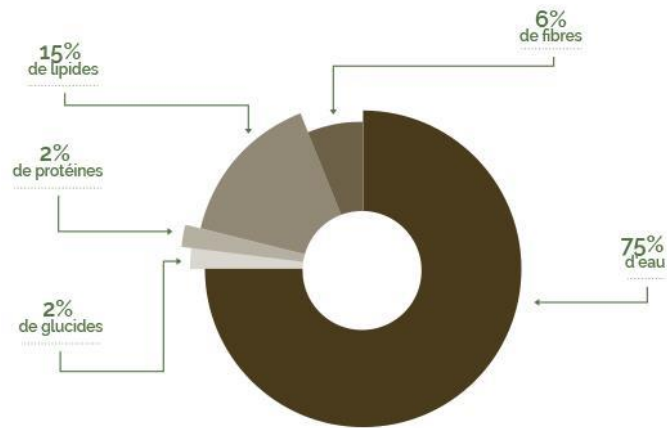


Figure n°115 : La composition d'une olive verte par Terres Univia (290)

L'huile d'olive est fabriquée depuis l'Antiquité, le procédé de fabrication a évolué tout au long de l'histoire. La pulpe du fruit est utilisée pour fabriquer l'huile d'olive. L'olivier est très fréquent sur le pourtour méditerranéen (90 % des oliviers cultivés le sont dans cette région en 2015). Hippocrate (460-377 avant Jésus-Christ), médecin Grec, utilisait l'huile d'olive contre les courbatures, dans le cas d'ulcère ou du choléra. Il l'appelait le « grand guérisseur ».

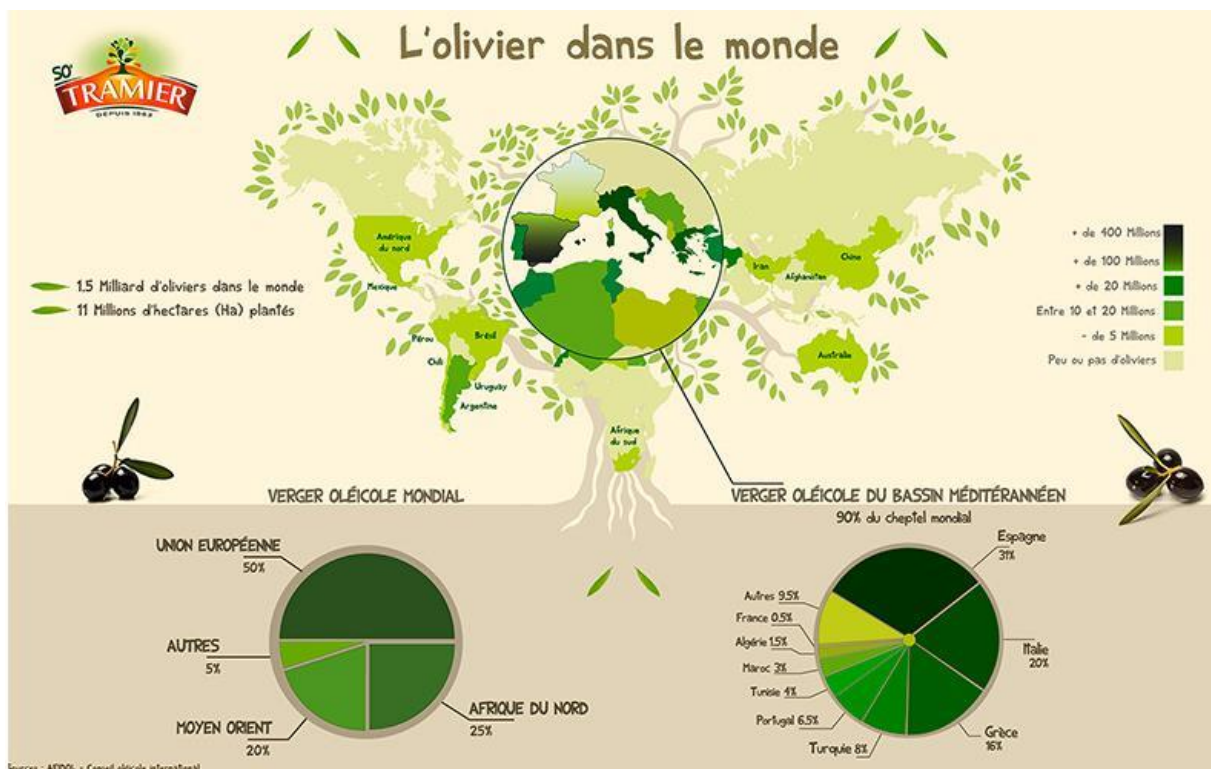


Figure n°116 : L'olivier dans le monde en 2015 d'après Tramier (299)

D'après la journaliste économiste Girard Laurence (130), la production d'huile d'olive en France est d'environ 5 900 tonnes pour la saison 2018-2019 avec 3,13 millions de tonnes d'olives pressées dans le monde.

Le décret n°2008-184 du 26 février 2008 (191) porte sur l'application du code de la consommation en ce qui concerne les graisses et les huiles comestibles. L'article 5 nous indique :

« La dénomination « huile vierge de... » est suivie du nom de la graine ou du fruit dont elle est issue. Ces huiles sont obtenues par des procédés mécaniques, clarifiées exclusivement par des moyens physiques et ne peuvent avoir subi ni traitement chimique ni aucune opération de raffinage ».

« La dénomination « huile de ... » est suivie du nom de la graine ou du fruit dont elle est issue. Elle est réservée aux huiles alimentaires composées de cette graine ou de ce fruit et qui ont suivi des opérations d'extraction et de raffinage ».

« La dénomination « huile végétale » est réservée aux huiles obtenues par un mélange d'huiles végétales alimentaires ».

Et « La mention « première pression à froid » susmentionnée est réservée aux huiles n'ayant subi de procédés thermiques. La montée en température ne peut être liée qu'au seul procédé de pression et extrusion mécanique de la graine ou du fruit oléagineux ».

L'huile d'olive existe sous plusieurs formes et plusieurs appellations. D'après consoglobe (83), les dénominations autorisées pour les huiles sont : « huile d'olive vierge extra », « huile d'olive vierge », « huile d'olive, composée d'huiles d'olive raffinées et d'huiles d'olive vierges » ou « huile de grignons d'olive ».

Une huile d'olive vierge est obtenue par pression à froid sans utilisation de produit chimique. Le règlement d'exécution (UE) n°29/2012 (169) de la commission du 13 janvier 2012 relatif aux normes de commercialisation de l'huile d'olive et plus précisément l'article 5 stipule que: la mention « première pression à froid » doit figurer uniquement sur l'étiquette des huiles d'olive vierges extra ou vierges obtenues à moins de 27 °C, lors d'un premier pressage mécanique de la pâte d'olives, par un système d'extraction de type traditionnel avec presses hydrauliques.

En fonction de l'acidité, il y a trois sous-catégories d'huiles d'olives :

- Extra-vierge : moins de 1 % d'acidité, celle à moins de 0,5 % est préférable
- Vierge fine : taux d'acidité entre 1 et 2 %
- Vierge : taux d'acidité supérieur à 2 %

L'huile d'olive raffinée ou huile pure d'olive raffinée est une huile ayant subi des étapes de raffinage. L'huile pure d'olive est un mélange entre une huile d'olive vierge et une huile d'olive raffinée. L'huile d'olive sans dénomination a un taux d'acidité libre. L'huile d'olive raffinée a subi des traitements et a perdu une part importante de sa valeur nutritive.

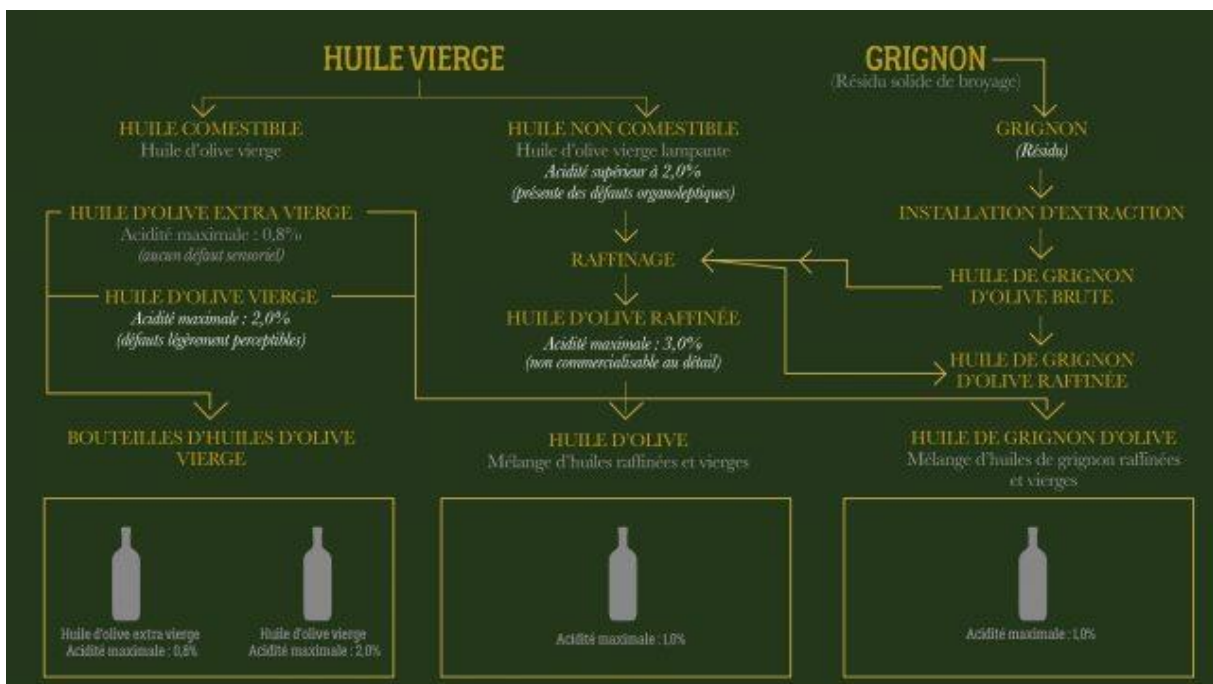


Figure n°117 : Les différentes catégories d'huiles d'olive d'après Le Galliard Cécile (190)

L'huile d'olive vierge lampante et l'huile de grignons d'olive sont impropres à la consommation, elles vont donc subir l'étape du raffinage pour devenir une huile d'olive consommable. Dans le passé, c'est l'huile lampante qui servait de combustible dans les lampes.

Le savon de Marseille est lié à l'huile d'olive grâce notamment à l'Edit de Colbert (262) qui en 1688 réglemente la fabrication du savon. Celui-ci doit être fabriqué à Marseille avec des matières premières locales comme l'huile d'olive pure provenant de Provence. En 1906, la réglementation précise qu'il faut 72% d'huiles pur au minimum.

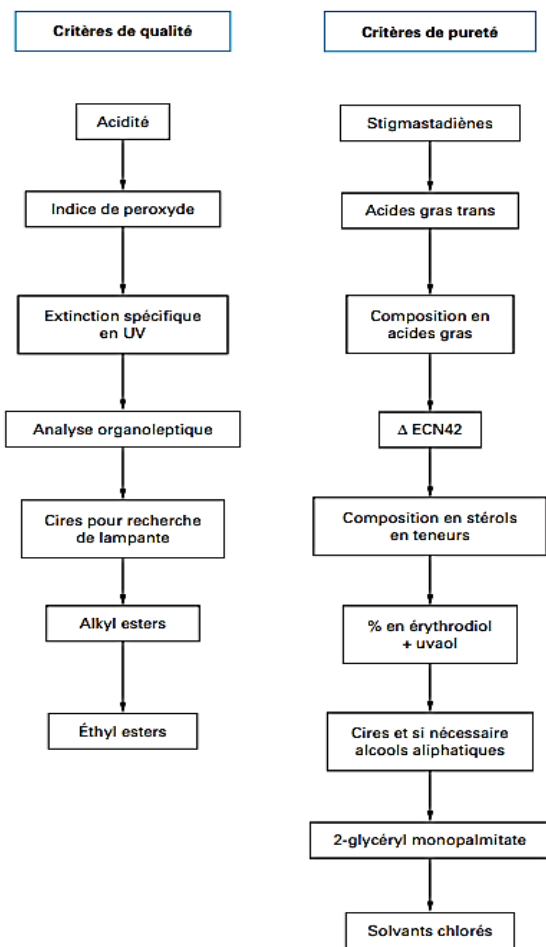


Figure n°118 : Arbre décisionnel pour caractériser l'huile d'olive d'après Ollivier et al. (229)

L'arbre décisionnel permet de connaître les critères de qualité et de pureté. « La qualité de l'huile d'olive vierge se détermine par l'acidité, l'indice de peroxyde, l'analyse spectrophotométrique, la teneur en esters éthyliques et l'examen organoleptique. La pureté de l'huile est déterminée par l'analyse des acides gras, des stérols, des triglycérides par CLHP afin de rechercher la présence éventuelle d'huiles étrangères. Ensuite, l'addition d'huile d'olive raffinée ou de grignons d'olive est recherchée par la détermination de la teneur en cires, de la teneur en stigmasta-3,5-diène, en érythrodiol et uvaol. Enfin, l'analyste va s'assurer de l'absence de résidus de solvants chlorés par un CPG équipé d'un détecteur à capture d'électrons » d'après Ollivier et al. (229).

La CHLP est la chromatographie en phase liquide à haute performance et la CPG est la chromatographie en phase gazeuse.

Certaines huiles possèdent une AOC (Appellation d'Origine Contrôlée), d'autres possèdent une AOP (Appellation d'Origine Protégée). L'AOP est définie selon l'Institut National de l'Origine et de la Qualité (163) comme « un produit dont toutes les étapes de production sont réalisées selon un savoir-faire reconnu dans une même aire géographique, qui donne ses caractéristiques au produit. C'est un signe européen qui protège le nom du produit dans toute l'Union européenne ». L'AOC concerne seulement le territoire français. En France, pour l'huile d'olive, il y a 1 AOC et 7 AOP. Pour les olives, il y en a 5 en AOP et une pâte d'olive en AOP.

a) Composition de l'huile

La fraction huileuse est entre 98 et 99 %. C'est dans la partie insaponifiable de l'huile qu'on retrouvera les stérols, les tocophérols, le squalène...

AGPI	Acide linoléique	7%	<p>The donut chart illustrates the average composition of olive oil fatty acids. The largest segment is oleic acid at 73%, followed by palmitic acid at 10%, linoleic acid (omega 6) at 10%, alpha-linolenic acid (omega 3) at 1%, and other fatty acids at 6%.</p>
	Acide arachidonique	2%	
	Acide α -linoléique	0.5%	
AGMI	Acide oléique	74%	
	Acide palmitoléique	0,5%	
AGS	Acide palmitique	10%	
<p><i>Tableau n°42 : Composition de l'huile d'olive d'après le livre de Clergeaud : Les huiles végétales : huiles de santé et de beauté (76)</i></p>			<p><i>Figure n°119 : La composition moyenne de l'huile d'olive en acides gras d'après Terres Univia (290)</i></p>

Elle contient des vitamines comme la vitamine A, D, E et K. Du fait de sa teneur importante en AGMI, l'huile d'olive est peu sensible à l'oxydation.

D'après Ciqual, voici la composition de l'huile d'olive vierge extra pour 100 grammes avec une valeur nutritionnelle de 3 700 kJ.

Protéines	0 g	Sélénium	< 10 mg	Lipides	100 g
Glucides	0 g	Vitamine E	21,7 mg (5,1 – 25)	AGS	11,9 g
Cendres	0,0084 g	Vitamine K1	60,2 µg (50,1 -70,3)	AGMI	75,2 g (69 – 77,7)
Calcium	< 2,57 mg	Zinc	0,018 mg (0,023 maximum)	AGPI	7,39 g (6,8 – 10)
Cuivre	0,0049 mg	Sodium	< 10 mg	Acide palmitique	8,26 g (12,5 maximum)
Fer	0,044 mg	Manganèse	0,0033 mg	Acide oléique	71 g (62,4 – 76,6)
Potassium	< 0,81 mg	Magnésium	< 0,58 mg	Acide linoléique	6,75 g (5,82 – 8,2)
				Acide α-linolénique	0,64 g (0,6 – 0,7)
				Acide stéarique	2,99 g (1,93 minimum)
				Acide butyrique	< 0,05 g
				Acide caproïque	< 0,05 g
				Acide caprylique	< 0,05 g
				Acide caprique	< 0,05 g
				Acide laurique	< 0,05 g
				Acide myristique	< 0,05 g

Tableau n°43 : Composition de l'huile d'olive extra vierge pour 100 g d'après Ciqual (29)

b) Utilisation de l'huile

(1) Dans le domaine alimentaire

C'est l'une des bases du fameux régime méditerranéen avec une consommation importante de légumes et de fruits, une faible consommation de viande et une consommation modérée de poisson. Cette diète est principalement réalisée dans les régions oléicoles. La diète méditerranéenne est classée au patrimoine culturel immatériel de l'humanité de l'UNESCO depuis 2013.



Figure n°120 : Pyramide alimentaire du régime méditerranéen d'après la nutrition (183)

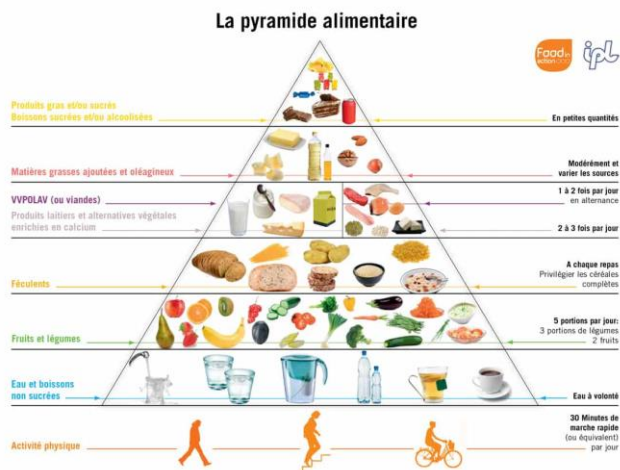


Figure n°121 : Pyramide alimentaire classique par Guggenbühl Nicolas (141)

Les deux pyramides sont actualisées en fonction des nouvelles recommandations alimentaires.

La base de chacune d'elles correspond à ce qu'il faut consommer le plus, et la pointe à ce qu'il faut manger en petites quantités. Leurs socles correspondent à l'activité physique. Fruits, légumes et féculents sont retrouvés à chaque repas. Une des différences est la place des huiles végétales. L'huile d'olive est totalement incorporée au régime méditerranéen alors que dans le régime traditionnel, les huiles végétales sont à prendre avec modération. Dans la dernière version, une consommation majorée des fruits et légumes a été préconisée.

L'huile d'olive peut être utilisée pour la cuisson et/ou pour l'assaisonnement. Elle est parfaite pour faire revenir les légumes, pour la vinaigrette, en mélange ou non avec une autre huile (de préférence plus riche en AG ω 3). L'huile d'olive peut aussi être aromatisée. Voici une recette simple d'une huile piquante pour pizza et/ou pâtes, il faut incorporer à 500 mL d'huile d'olive, 5 gousses d'ail hachées, 1 bouquet d'herbes de Provence, 1 cuillère à soupe de piment et de paprika. On laisse le tout macérer pendant trois semaines. Ceci permet d'avoir les avantages de l'huile d'olive sans le goût spécial qui peut parfois être un frein à son utilisation.

(2) Intérêt médical

L'huile d'olive est reconnue comme une huile très intéressante pour les personnes qui ont un diabète de type II, anciennement appelé diabète non-insulinodépendant. Un

régime en AGMI est conseillé chez les sujets diabétiques de type II comme montré dans l'étude réalisée par Madigan Claire *et al* (198) en 2000. Le premier groupe a eu un régime riche en acide linoléique ($\omega 6$) et le deuxième groupe riche en acide oléique ($\omega 9$), ce régime a été suivi pendant deux semaines. Un régime riche en acide linoléique par rapport à un régime riche en acide oléique entraîne une hausse des taux de glucose, d'insuline, de LDL-cholestérol et de cholestérol total dans le sang. En revanche, le taux de triglycérides et de HDL-cholestérol n'ont pas montré de différence significative entre les deux groupes.

En novembre 2004, l'ensemble des travaux effectués ont permis à la *Food and Drug Administration* (FDA) américaine de recommander la consommation de deux cuillères d'huile d'olive vierge extra par jour pour ses effets positifs sur les facteurs de risques cardiovasculaires.

Une étude de Violi *et al.* (312) a été réalisée en 2015 chez 25 individus en Italie. L'ensemble de l'étude a duré deux mois. Les participants mangeaient soit un repas de type méditerranéen avec huile d'olive vierge extra (10 g), soit un repas où l'huile d'olive était exclue. Les résultats de la première partie de l'étude ont montré que deux heures après le repas avec de l'huile d'olive, les personnes avaient une glycémie, une cholestérolémie (LDL-cholestérol) plus basse et une insulïnémie plus haute. Dans la deuxième partie de l'étude, les sujets avaient un repas soit avec de l'huile d'olive soit avec de l'huile de maïs toujours à 10 g par jour. Pour la deuxième partie de l'étude, le groupe (huile d'olive) avait un meilleur profil lipidique et glycémique. Au vu de la taille de l'échantillon, les résultats obtenus ne sont pas applicables à la population entière.

D'autres effets bénéfiques du régime méditerranéen ont pu être mis en évidence et notamment avec l'étude Predimed (Prévention primaire de la maladie cardiovasculaire au moyen du régime alimentaire méditerranéen). Cette très grande étude a été réalisée sur plusieurs années. Elle s'est subdivisée en plusieurs sous-études avec des temps de suivis, des objectifs et des populations différentes.

L'une des sous-études est celle d'Aros et Estruch (33) qui date de 2013 et qui concernait, en Espagne, 772 adultes avec un haut risque cardiovasculaire mais sans maladie cardiovasculaire divisés en trois groupes :

- Le groupe régime méditerranéen et huile d'olive (4 cuillères à soupe par jour) = groupe A
- Le groupe régime méditerranéen avec 30 g de noix mélangées par jour et par personne (15 g de noix, 7,5 g de noisettes et 7,5 g d'amandes) = groupe B
- Le groupe régime faible en graisses = groupe C

Ils ont été suivis pendant une durée moyenne de trois mois. Les deux groupes A et B ont eu notamment une diminution de la pression artérielle et une amélioration des paramètres lipidiques sanguins (diminution du LDL-cholestérol et augmentation du HDL-cholestérol). Le groupe A a aussi eu une diminution du taux de protéine C réactive. Il y a une réduction des risques cardiovasculaires avec un régime méditerranéen par rapport à un régime faible en graisse.

L'une des sous études est celle d'Estruch *et al.* (112) datant de 2018 et portant sur 7 447 personnes avec un âge moyen de 67 ans présentant des facteurs de risques cardiovasculaires (hypertension, diabète...). Le suivi était de 5 ans avec la même division en trois groupes (A, B et C). Une diminution de l'incidence d'environ 30 % des événements cardiovasculaires type infarctus a été constatés pour les sujets des groupes A et B. D'autres réductions d'évènements cliniques ont été observées (*cf.* tableau n°44).

Evènements cliniques	Régime méditerranéen enrichi en huile d'olive extra vierge = Groupe A	Régime méditerranéen enrichi en noix = Groupe B
	Réduction du risque en pourcentage	
Evènements cardiovasculaires (infarctus, AVC, mortalité cardiovasculaire)	30	28
Diabète de type 2	40	18
Artérite des membres inférieurs	64	46
Fibrillation auriculaire	38	10

Tableau n°44 : Réduction du risque de divers évènements cliniques, telles qu'observées lors de l'étude PREDIMED par Juneau Martin (171)

Les personnes ayant testé le régime méditerranéen et principalement le groupe A ont vu leur risque de divers éléments cliniques péjoratifs baissé.

Les maladies qui entraînent des déficits cognitifs, touchent de plus en plus de personnes dans le monde. Le régime méditerranéen pourrait être bénéfique pour lutter contre la maladie d'Alzheimer.

L'étude de Berr Claudine *et al.* (48) de 2009 a pour but d'évaluer la possible association entre l'huile d'olive et le déficit cognitif. Elle a suivi 6 947 sujets âgé de plus de 65 ans, non institutionnalisés et sans démence. Les volontaires ont été séparés en trois groupes en fonction de leur utilisation de l'huile d'olive :

- aucune
- modérée : cuisson ou vinaigrette
- importante : cuisson et vinaigrette.

La figure suivante représente les résultats pour le fonctionnement cognitif global, la fluidité verbale et la mémoire visuelle.

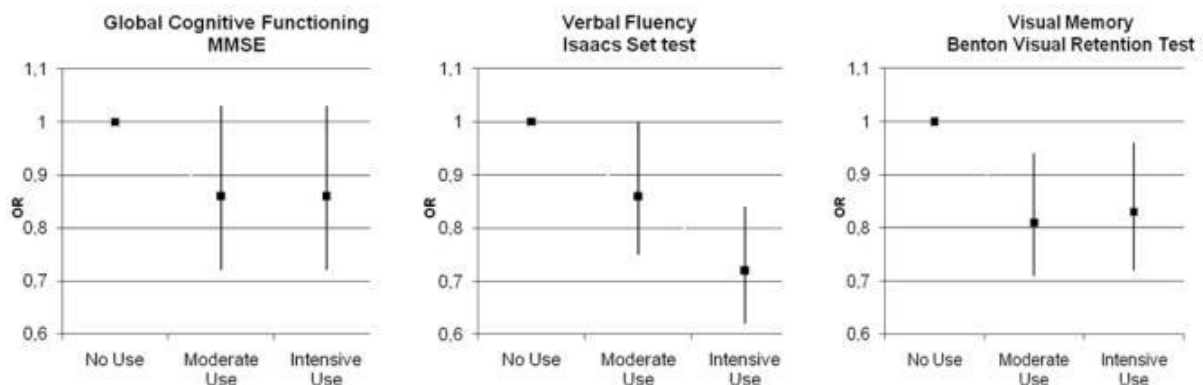


Figure n°122 : Les effets de la consommation d'huile d'olive sur certains troubles cognitifs d'après Berr et al. (48)

Les personnes qui ont une consommation importante d'huile d'olive ont un risque significativement plus faible de déficit cognitif de la mémoire visuelle et de la fluidité verbale. Berr Claudine nous indique dans sa conclusion que d'autres études sont nécessaires pour approfondir les connaissances à ce sujet. Les résultats sont cependant encourageants.

(3) En cosmétologie

L'huile d'olive entre dans la composition traditionnelle du savon d'Alep, du savon de Marseille et dans de nombreux produits de beauté. Elle a des propriétés antioxydantes (lutte contre le vieillissement cutané). Elle est nourrissante, adoucissante, cicatrisante, rafraîchissante et aide à la pénétration cutanée des autres principes actifs.

Exemple de masque à usage capillaire

L'huile d'olive en mélange avec du jus de citron constitue un masque capillaire pour tous types de cheveux. La formule est extraite du livre de Cousin Nathalie : « les huiles végétales pour votre santé » paru en avril 2005 (89). Le masque capillaire est à appliquer sur les longueurs et les pointes du cheveu, les cheveux sont ensuite enroulés dans une serviette. Après avoir respecté un temps de pause de 30 minutes, est rincé abondamment à l'eau tiède la chevelure pour bien enlever huile et odeur. L'application préconisée est une application mensuelle pour les cheveux normaux et bimensuelle pour les cheveux secs.



Figure n°123 : Quelques produits de la gamme à base d'huile d'olive de Laino® d'après Epermarket (111)

La marque Laino® incorpore de l'huile d'olive dans son soin nutritif intense pour les peaux extra sèches à tendance atopique. Elle est utilisée pour ses propriétés nourrissante et adoucissante. Le produit a été testé par 20 volontaires pendant 21 jours, 100 % des personnes ont eu une diminution de la sensation de tiraillements et 85 % trouve que le produit apaise les démangeaisons.



Figure n°124 : Quelques produits le petit olivier® (193)

La dernière marque citée est le petit olivier® puisque celle-ci a développé une gamme entière à base d'huile d'olive. Elle va des baumes à lèvres aux démaquillants en passant par des masques, des gommages ou du lait pour le corps.

(4) Autres usages

L'huile d'olive aussi été utilisée dans l'antiquité pour l'éclairage. Elle a également de nombreuses autres utilisations : elle sert à prolonger la vie des fleurs coupées, à atténuer des traces d'eau sur les meubles en bois.

4. L'huile de lin

Le lin (*Linum usitatissimum*L.) littéralement lin extrêmement utilitaire est utilisé depuis très longtemps. Le mot « linoléique » provient de l'allemand « *Lein Öl* » qui signifie huile de lin.

C'est une plante herbacée de la famille des Linaceae, genre *Linum*. Les premières traces de cultures de lin dateraient d'environ 36 000 ans avant J.C dans la région du Caucase (et plus précisément en Géorgie).

La toile de lin est le plus vieux textile au monde. Les égyptiens le nommaient « lumière de lune tissée ». La déesse Isis aurait créé le lin pour les vêtements de son mari Osiris. D'ailleurs, les prêtres qui la servaient ne portaient que des robes en lin blanc. Les bandelettes qui servaient lors du rituel d'embaumement étaient en lin.

En Grèce, le médecin Hippocrate incorporait des graines de lin dans différentes préparations pour leurs propriétés laxatives et émollientes. Ces propriétés sont liées à la présence de polysaccharides qui gonflent en présence d'eau.

La production de lin s'est séparée en deux filières : d'un côté le lin oléagineux pour la production de graine riches en huile et de l'autre côté, le lin textile.

La composition d'une graine de lin est présentée dans la figure suivante.

Composition d'une graine de lin en pourcentage

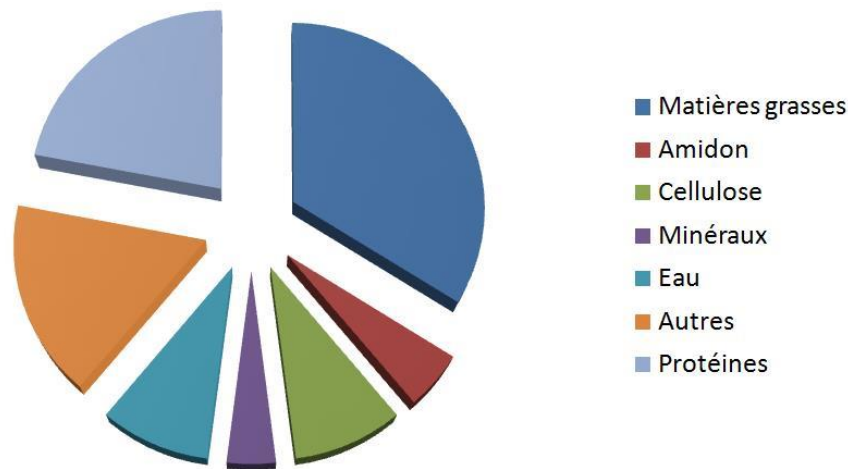


Figure n°125 : La composition d'une graine de lin oléagineux d'après Terres Univia (292)

Les graines contiennent entre 35 et 45 % d'huile. Elles sont broyées et cuites avant de les consommer. Les graines consommées crues à de fortes doses peuvent être toxiques pour l'homme à cause des composés cyanogènes. La cuisson permet de détruire ces derniers.

Elles servent à fabriquer l'huile mais elles sont aussi très courantes dans l'alimentation animale. L'incorporation des graines de lin dans l'alimentation animale permet de retrouver les AGPI ω 3 dans l'assiette du consommateur (viande, lait, œuf...).

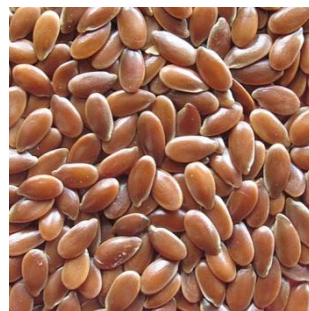


Figure n°126 : Les graines de lin par Huiling (157)

a) **Composition de l'huile**

L'huile de lin est riche en AGPI ω 6 et en AGPI ω 3. Elle est composée des lignanes, des fibres et des vitamines (A, B, E et K). C'est une huile de couleur plutôt claire.

D'après Ciqual, voici la composition de l'huile de lin pour 100 g avec une valeur nutritionnelle de 3 700 kJ.

Protéines	0 g	Sélénium	< 10 mg	Lipides	100 g
Glucides	0 g	Vitamine E	8,99 mg (0,47 – 17,5)	AGS	9,19 g (8,98 – 9,4)
Cendres	0,0021 g	Acide myristique	0,077 g	AGMI	19,3 g (18,4 – 20,2)
Calcium	1 mg	Acide laurique	0,018 g	AGPI	66,9 g (66 – 67,8)
Phosphore	1 mg	Acide caprique	0,008 g	Acide palmitique	5,2 g (5,11 – 5,3)
Zinc	0,07 mg	Acide linoléique	13,5 g (12,7 – 14,2)	Acide stéarique	3,73 g (3,37 – 4,1)
Vitamine K1	9,3 µg	Acide α-linolénique	53,3 g (53,3 – 53,4)	Acide oléique	19,2 g (18,3 – 20,2)

Tableau n°45 : Composition de l'huile de lin pour 100g d'après Ciqual (29)

D'après Daun *et al.* (92), la teneur en ALA varie énormément en fonction du génotype du lin et de ses conditions de culture. Il existe du lin oléagineux de printemps et d'hiver. Le tableau ci-dessous nous résume les risques de chaque culture.

	Gel	Stress hydrique/thermique juin	Hydromorphie	Sols de craie, cranettes (blocage du zinc)	Forte infestation en graminées résistantes	
Lin d'hiver						<ul style="list-style-type: none"> ■ Risque faible ■ Risque moyen ■ Risque fort ■ Déconseillé
Lin de printemps						

Tableau n°46 : Tolérance du lin oléagineux, type hiver ou printemps, aux contraintes climatiques d'après Terres Inovia (283)

L'huile de lin est siccative, elle peut former un film solide continu quand elle est exposée à l'air en couche mince. La siccativité nous indique comment l'huile va « sécher », paramètre très utilisé dans le domaine de la peinture.

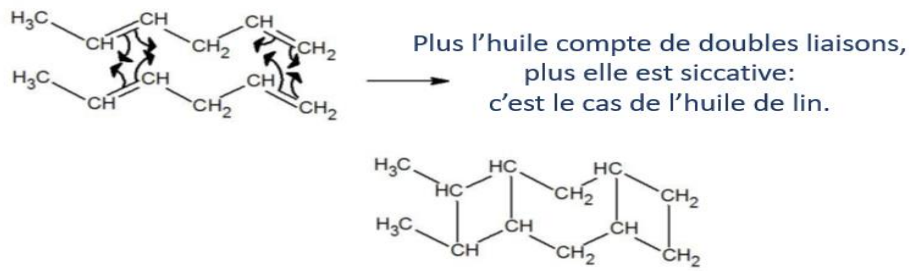


Figure n°127 : Réaction d'addition conduisant à la polymérisation de l'huile d'après Rigny Paul (250)

Une indication de la siccativité d'une huile est donnée par son indice d'iode, plus il est élevé, plus l'huile contient des molécules insaturées. L'indice d'iode, d'après Lapierre et St-Gelais (184), est le nombre de grammes d'iode moléculaire absorbé par 100 grammes de corps gras. L'huile de lin possède un indice d'iode d'environ 180-190. C'est donc une huile siccative. L'indice d'iode ne différencie pas les AGMI des AGPI.

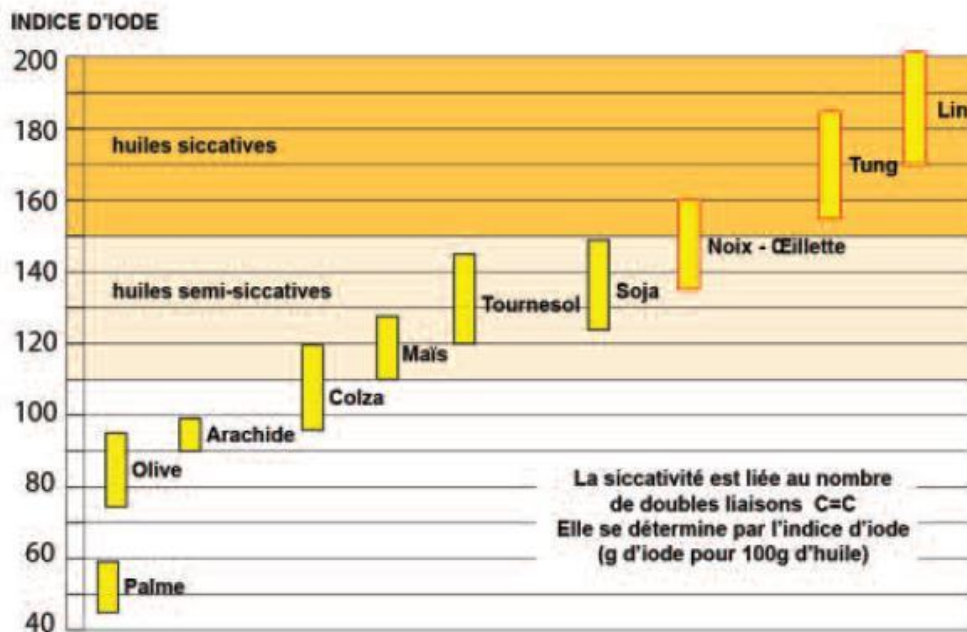


Figure n°128 : La siccativité des huiles par Mouillaud Gérard (219)

La figure précédente permet de classer les huiles en huiles non-siccatives (indice inférieur à 110), demi-siccatives (indice entre 110 et 150) ou siccatives (indice supérieur à 150).

b) Utilisation de l'huile

La figure n°129 illustre le devenir des graines de lin produites en France.

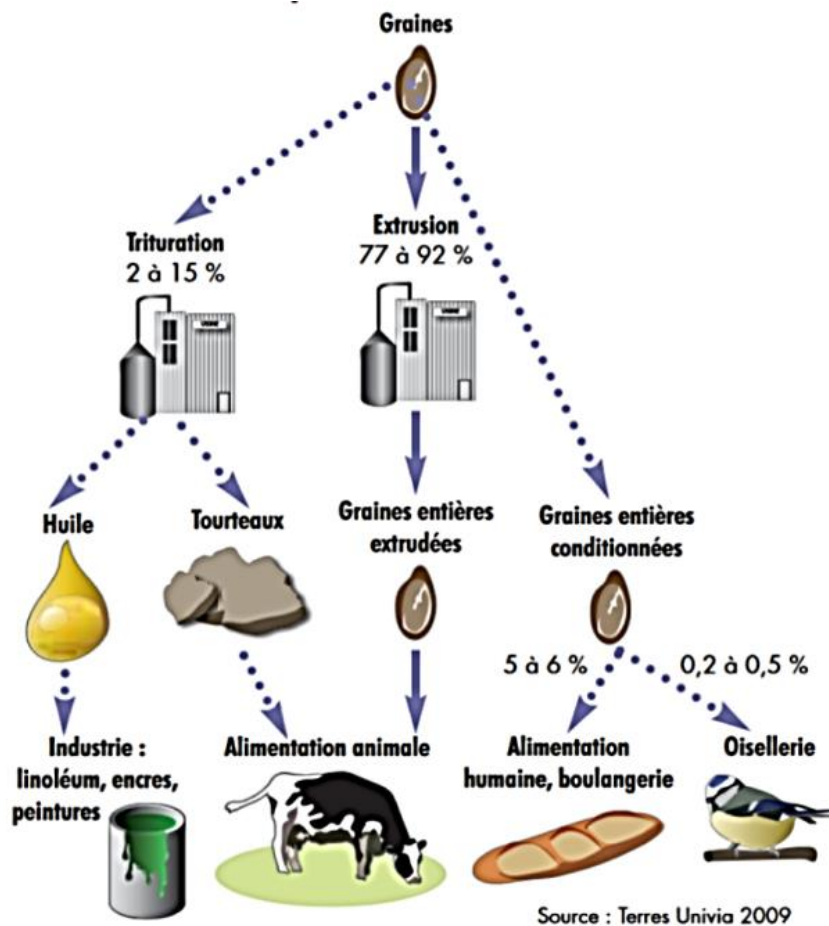


Figure n°129 : Répartition des débouchés des graines de lin produites en France d'après Terres Univia (285)

(1) Levée de l'interdiction de l'huile de lin à usage alimentaire

L'huile de lin étant très instable, sensible à la chaleur et facilement oxydable, elle fut interdite en France (de 1908 à 2009) mais était toutefois autorisée dans d'autres pays comme l'Allemagne ou le Canada. La levée de l'interdiction s'est faite par l'arrêté du 12 juillet 2010 modifiant l'arrêté du 4 décembre 2008 (168), fixant les conditions d'utilisation de l'huile de lin pour un usage alimentaire.

La libre circulation des produits dans l'union européenne et le fait que la consommation des français en AG ω 3 est déficitaire ont justifié la remise en cause de cette interdiction. Cependant cette autorisation a été assortie à de nombreuses conditions :

- traçabilité des lots de la pression des graines jusqu'au conditionnement pour une durée limitée d'utilisation et de consommation ne dépassant pas un an,
- conditionnement opaque de 250 mL au maximum,

- DLUO, durée limite d'utilisation optimale inférieure à 9 mois,
- inertage à l'azote (le but est de remplacer l'air entre l'huile et le bouchon par de l'azote) avant d'obturer la bouteille

Les mentions suivantes doivent être apposées sur l'étiquette : réserver à l'assaisonnement, ne pas chauffer, conserver à l'abri de la chaleur avant ouverture, conserver au réfrigérateur après ouverture. L'AFSSA à l'époque a recommandé de ne pas utiliser l'huile de lin dans l'alimentation des enfants en absence d'études sur son intérêt nutritionnel et son innocuité.

L'huile de lin doit être après ouverture utilisée rapidement (entre 1 et 3 mois) et conservée au frais. En cuisine, elle peut être incorporée à une vinaigrette, pour assaisonner un tartare de poisson ou un caviar d'aubergines. Certaines personnes lui trouvent une légère saveur de noisette, d'autres, une saveur neutre.

(2) Dans le domaine alimentaire

Les tourteaux de lin sont très utilisés dans la nutrition animale. L'enrichissement de l'alimentation se fait souvent avec la graine de lin plutôt qu'avec l'huile.

Le lapin a une composition lipidique intéressante par deux points de vue : très peu de lipides par rapport à d'autres viandes (elle est qualifiée de viande maigre), par nature la viande a une teneur en ALA élevé avec un ratio ω_6/ω_3 plus bas que d'autres viandes.

L'article de Teillet Benoît *et al.* (282) datant de 2013 est une synthèse concernant l'enrichissement en AGPI ω_3 en cuniculture et son impact sur la viande de lapin. Pour augmenter le niveau d'ALA, les chercheurs ont utilisé la graine de lin avec des concentrations différentes en fonction des régimes. Les résultats nous montrent une relation directe entre le taux d'ALA de l'alimentation et la viande de lapin. Cet enrichissement permet de diminuer la teneur en AGS, en ω_6 et donc du ratio ω_6/ω_3 (16 à 3 environ (de 2,5 dans l'épaule à 3,4 dans la cuisse) et d'obtenir des produits en forte teneur en ALA pour 100g de viande.

Des consommateurs ont goûté les différents morceaux avec et sans enrichissement, il n'y a eu aucune différence significative. Ils ont jugé l'apparence, l'odeur, le goût et la texture. Ceci est un point important car même si la viande est meilleure en termes de nutrition si le goût n'est pas au rendez-vous, le consommateur ne la mangera pas. A noter

qu'avant l'industrialisation de l'élevage, les lapins avaient déjà une nourriture riche en AGPI ω 3. Cette alimentation a été remplacée pour diminuer les coûts de production.

Cette étude nous indique que l'impact d'une alimentation riche en AGPI ω 3 est différent en fonction du morceau de viande choisie. Privilégiez le râble et l'épaule par rapport à la cuisse.

Une autre étude, celle de Colin *et al.* (80), est arrivée à la même conclusion en 2010. L'enrichissement de la nourriture des lapins via l'ajout de graines de lin extrudées à l'alimentation a permis d'augmenter le taux d'ALA mais aussi de diminuer le taux d'AGS, d' ω 6 et donc d'avoir un meilleur rapport ω 6/ ω 3.

Les effets d'un apport en graines de lin ou en huile de lin dans l'alimentation humaine ont des impacts sur les paramètres lipidiques et sur les profils gras circulant. Dans une étude menée chez l'homme, l'étude de Weill P *et al.* (317)), des graines extrudées (5g par jour dans du pain) ont été données à des volontaires sains. L'extrusion des graines est un procédé qui permet d'ajouter de l'eau et de la vapeur pour une cuisson courte. Les éléments nutritifs sont préservés.

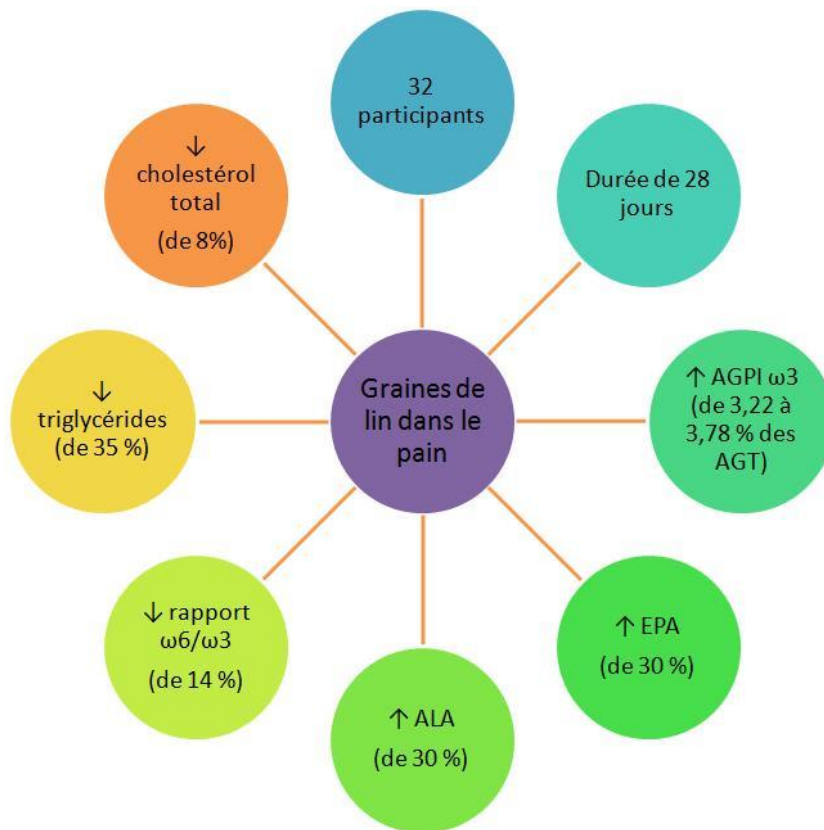


Figure n°130 : Présentation et résultats de l'étude de Weill P et al. (317)

Comme l'atteste la figure n°130, une baisse du cholestérol total et des triglycérides ainsi qu'une augmentation en ALA et EPA ont été obtenues. L'étude a montré qu'un enrichissement des produits en $\omega 3$ permet d'améliorer les paramètres lipidiques sanguins et donc la santé des consommateurs.

Dans la vie de tous les jours, ce n'est pas forcément facile de suivre les recommandations nutritionnelles. C'est pour nous aider que divers organismes / associations ont vu le jour. En 2000, l'association Bleu Blanc Cœur est créée. De nombreux produits ont ce logo sur leurs packagings (jambon, crème, œufs...).



Figure n°131 : La démarche Bleu Blanc Cœur (35)

Pour pouvoir utiliser ce logo, il faut respecter un ou plusieurs cahiers des charges selon que l'on soit cultivateur ou distributeur. Que signifie, par exemple, un jambon avec ce symbole ? Le logo nous indique que le porc a mangé des sources naturelles d'AGPI $\omega 3$ comme le lin. Cet enrichissement bénéfique va se retrouver dans le jambon qui aura une meilleure composition nutritionnelle (plus d'AGPI $\omega 3$) qu'un jambon classique. Il sera donc meilleur pour la santé. L'avantage de cette association est que les consommateurs ont la possibilité d'acheter ces produits partout (des petites boucheries aux grandes surfaces).

L'association Bleu Blanc Cœur participe à de nombreux projets et en 2008, l'Etat a reconnu son intérêt et ensemble, ils ont signé une charte d'engagements nutritionnels. Au niveau international, l'ONU (Organisation des Nations Unies) a reconnu l'association comme une alternative agricole durable.

(3) En cosmétologie

Un autre domaine où l'huile de lin est très utile est la cosmétologie. Elle est notamment présente dans des gels douche, des shampoings ou des crèmes de soin. Elle va améliorer l'hydratation et l'élasticité de la peau en retenant l'eau dans l'épiderme.

(4) Autres usages

L'huile de lin sert aussi à protéger le bois. Elle entre dans la composition de vernis, de peintures, d'encre ou d'agents de revêtement. La couleur de l'huile de lin a tendance à varier (de jaune très pâle à orange foncée). Certains industriels vont se servir de l'échelle de couleur Gardner pour nous aider à choisir par rapport à la couleur de notre bois. Elle va de 1,

jaune très pâle, à 18, marron. A partir du niveau 11, nous sommes sur des teintes plus orangées.



Figure n°132 : Echelle de couleur Gardner d'après Hellopro (146)

L'huile de lin peut être utilisée pure pour les bois d'intérieur ou mélangée à des terpènes d'agrumes. Pour les bois d'extérieur, il faudra la diluer avec de l'essence de térébenthine et il sera conseillé d'appliquer plusieurs couches à des dilutions différentes. Elle convient à tous types de bois et c'est une alternative plus écologique que les produits industriels types peintures. L'huile va s'imprégner dans le bois pour le nourrir. En séchant, un fin film protecteur satiné va apparaître à la surface. Il se crée une protection du bois par rapport à l'humidité.



Quand sur un meuble, il faut enlever l'excédent de l'huile de lin, on ne jette pas le chiffon n'importe où. Au contact de l'air, l'huile de lin va générer une réaction exothermique avec une libération de chaleur donc le chiffon ne doit pas se trouver près d'un mégot ou de tout autre objet susceptible de déclencher un feu. Sur la notice ou sur certains produits, la mention « risque d'auto-inflammation : faire sécher les chiffons imprégnés à l'air libre ou les conserver dans une boîte métallique hermétiquement fermée ou dans l'eau » est indiquée.

Pour le ménage, l'huile de lin peut être appréciée. Si elle est mélangée avec du savon liquide, on va obtenir un très bon nettoyant.

IV. Cas particulier de l'huile de cameline

En 1998, la DGCCRF a reconnu l'huile de cameline comme alicament, terme résultant de la contraction du mot aliment et du mot médicament. Le dictionnaire Larousse (185) le définit comme un « produit alimentaire dans lequel ont été introduits des éléments considérés comme partiellement bénéfiques pour la santé ».

En janvier 2010, le Canada a accepté la demande de la société Canpresso Products Inc pour une mise sur le marché de l'huile de cameline en tant qu'ingrédient alimentaire.

A. Pourquoi l'huile de cameline ?

D'après les nutritionnistes, l'huile de cameline est considérée comme l'huile végétale alimentaire idéale. Ceci est lié à son excellent rapport $\omega 6/\omega 3$. Sa popularité tout comme sa culture augmente d'année en année. D'ailleurs, le nombre de publications scientifiques avec le mot « *camelina* » ne cesse de s'accroître : 335 entre 2013 et 2016 dont 149 depuis 2015.

La figure suivante nous illustre le marché potentiel pour l'huile de cameline et son tourteau.

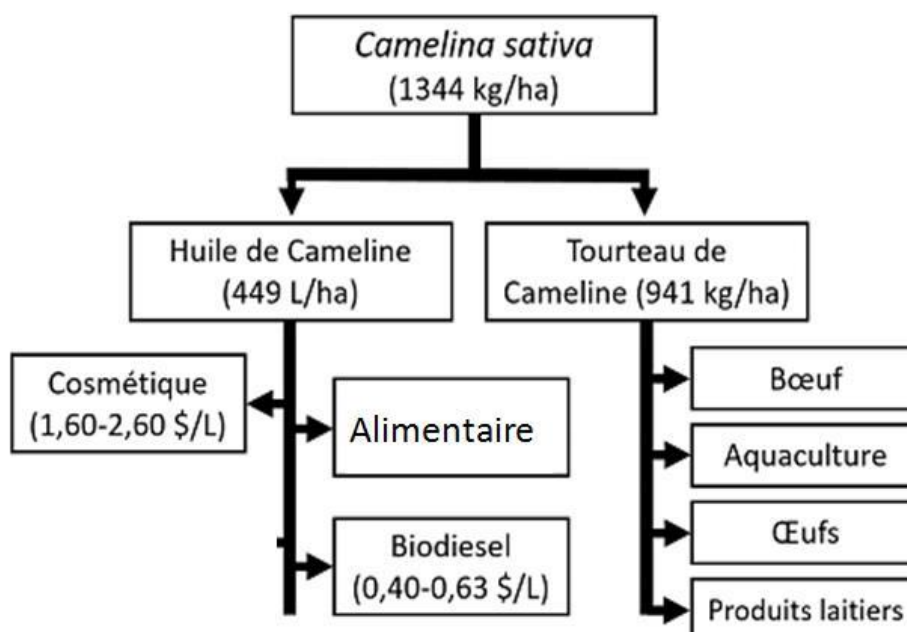


Figure n°133 : Le marché potentiel pour l'huile et le tourteau de cameline d'après Chesnais Quentin (69)

1. Intérêts de la cameline

Les maladies ou les parasites sont souvent spécifiques d'une culture, le fait de les alterner va limiter leurs développements. La rotation longue nécessite l'arrivée de nouvelles cultures. La cameline répond parfaitement à cette problématique. Le renouveau de sa culture est liée à un intérêt croissant des agriculteurs bio.

L'agriculture biologique se base sur trois axes pour protéger les cultures :

- ➔ la maîtrise des adventices, des maladies et des ravageurs.
- ➔ la rotation des cultures : difficile à gérer et nécessite un plan de culture annuel sur plusieurs années (au moins 5 ans avec si possible plusieurs années en prairie)
- ➔ la variation des cultures d'hiver et d'été ainsi que le type de famille botanique.

2. Historique de l'utilisation de la cameline

La cameline est produite dans le monde entier depuis très longtemps. Les Celtes utilisaient déjà l'huile de cameline à partir de l'une des formes sauvages : *Camelina microcarpa*. Des traces de l'utilisation de la cameline sont présentes durant l'âge de bronze (-2 200 à -800 av JC), pendant l'âge de fer (de -800 à -50 av JC) plutôt en Europe centrale et près de la mer du Nord (Toulemonde *et al.* (297)).

Cette plante oléagineuse était cultivée pour plusieurs raisons : son taux de croissance rapide, sa résistance aussi bien au froid qu'à la chaleur et pour le fait que tout était exploitable dans la plante. Les graines donnent l'huile, les tiges peuvent servir comme chaume pour couvrir les maisons, être mises en bottes pour en faire des balais et les déchets peuvent être donnés aux animaux ou servir d'engrais. Des traces de sa culture aux époques grecques puis romaines ont aussi été retrouvées.

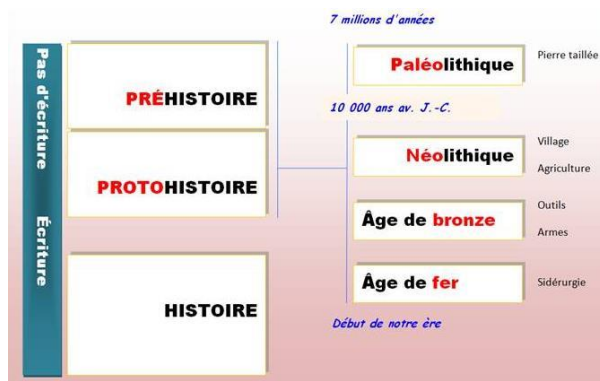


Figure n°134 : Les différentes périodes historiques
d'après Villemin Gérard (311)

En Europe, des traces de la cameline ont été retrouvés dans des sites néolithiques en Allemagne et en Suisse. Il faut attendre l'âge du Bronze pour en retrouver en Italie. La cameline est signalée au Proche-Orient au III^{ème} millénaire avant notre ère. En Roumanie, elle était présente vers la fin du III^{ème} millénaire avant JC (transition Néolithique / âge de Bronze). La culture en Europe occidentale a commencé à l'âge de Fer, des restes ont été signalés aux Pays-Bas et en Grande Bretagne.

A partir du Moyen-âge jusqu'au siècle des Lumières, son utilisation diminue jusqu'à se limiter à une seule utilisation, les lampes à huile.

En France, l'étude de Bouby Laurent en 1998 (55) nous apprend que des fouilles en Vendée et plus précisément sur le site de Vieil-Auzay ont été réalisées. Le site comporte des objets qui sont datés entre le néolithique moyen jusqu'à la fin de l'âge du bronze. Des graines carbonisées ont été retrouvées et analysées. Plusieurs espèces dont la cameline ont pu être identifiées. Cependant la très faible quantité retrouvée ne permet pas de conclure s'il agit de la forme sauvage ou de la forme cultivée. Sur un autre site en Aveyron, des graines de cameline ont été identifiées avec des graines de lin. Ici, l'hypothèse la plus probable est qu'il s'agit de la forme sauvage qui a poussé dans les champs avec le lin. La figure suivante nous montre les différents sites néolithiques où la cameline a été retrouvée.



- | | |
|--|---|
| 1 : Châtelliers-du-Vieil-Auzay (Auzay, Vendée) | 5 : Saint-Martin-de-Brôme (Alpes de haute Provence) |
| 2 : Foissac cave (Foissac, Aveyron) | 6 : Saint-Marcel oppidum (Le Pègue, Drôm) |
| 3 : Marduel oppidum (Saint-Bonnet-du-Gard, Gard) | 7 : Les Ressources (Saint-Maur, Indre) |
| 4 : Coudouneu (Lançon-de-Provence, Bouches du Rhône) | 8 : Le Grand Jaunet (Liniez, Indre) |
| | 9 : Saint Martin des Champs (Bourges, Che) |
| | 10 : Suippes (Marne) |

Légende: Les sites du néolithique (symbole ★) à l'âge du fer (symbole ●) avec des graines de cameline en France.

Figure n°135 : Carte des sites de France où les graines de camelines ont été retrouvées du néolithique à l'âge du fer d'après Bouby Laurent (55)

Des graines de cameline ont été mises à jour dans de nombreuses fouilles archéologiques et le plus souvent avec des graines de lin. La question qui se pose régulièrement est la suivante: est-ce que la cameline était cultivée ou est-elle présente en tant que mauvaise herbe ? Sur certains sites, les archéologues ont retrouvé des restes de nourriture et des pains contenant des graines de cameline mais pas de graines de lin. Ceci laisse penser que la cameline était cultivée en tant que plante principale.

Une découverte faite par l'équipe de Larsson Mikael (186) en 2013 sur le site de fouille archéologique d'Uppakra en Suède, site datant du début de l'âge du fer, nous apporte des réponses. C'est le premier site suédois où les archéologues ont trouvé un conglomérat de graines de cameline seules et en grande quantité ainsi que des conglomérats de graines de lin. Le fait que les graines soient séparées et stockées à des endroits différents suggère que la culture et la récolte des deux plantes étaient distinctes. La culture mixte dans un même champ semble peu probable du fait que le lin a une croissance plus longue (environ 20 jours de plus) et qu'il demande des sols plus riches que la cameline. La culture des deux plantes séparées leur a permis d'utiliser plus de terres agricoles. En revanche, dans certaines maisons, un mélange des deux graines a été retrouvé dans la cuisine pour vraisemblablement la fabrication d'huile et/ou de pain.

B. Présentation botanique de *Camelina sativa* (L.) Krantz

La cameline ou faux lin, de son nom latin actuel *Camelina sativa*, possède d'autres noms comme *Myagrum sativum* L., *Alyssum sativum* Scop., *Cochlearia sativa* Cav., ou *Linostrophum sativum* Schrank. Elle fait partie de la famille des Brassicaceae diploïde, anciennement nommée famille des crucifères (famille importante des plantes dicotylédones). Le chou, la moutarde ou le colza appartiennent à cette famille dont d'autres membres comme le rutabaga, sont redevenus à la mode en cuisine.

La position taxonomique de *Camelina sativa* dans la classification phylogénétique (APG IV) d'après Angiosperms Phylogeny Group (22) est la suivante :

- Cladus : *Plantae*
- Cladus: Plasmodesmophytes
- Cladus: Embryophytes
- Cladus : Stomatophytes
- Cladus : Hemitracheophytes
- Cladus: Euphyllophytes
- Cladus : Spermatophytes
- Cladus : Angiospermes
- Cladus : Eucotylédones
- Cladus : Dicotylédones Vraies supérieures
- Cladus : *Rosidae*
- Cladus : Malvidées
- Ordre : Brassicales
- Famille : *Brassicaceae*
- Genre : *Camelina* Crantz,
- Espèce : *Camelina sativa* (L.) Crantz

La famille des Brassicacées comprend environ 350 genres et 3 500 espèces. Ce sont en majorité des plantes herbacées annuelles ou bisannuelles. Afin d'illustrer les différents termes utilisés par la suite, nous allons nous pencher tout d'abord sur la figure n°141 correspond à une coupe d'une fleur puis nous poursuivrons par la description de la cameline.

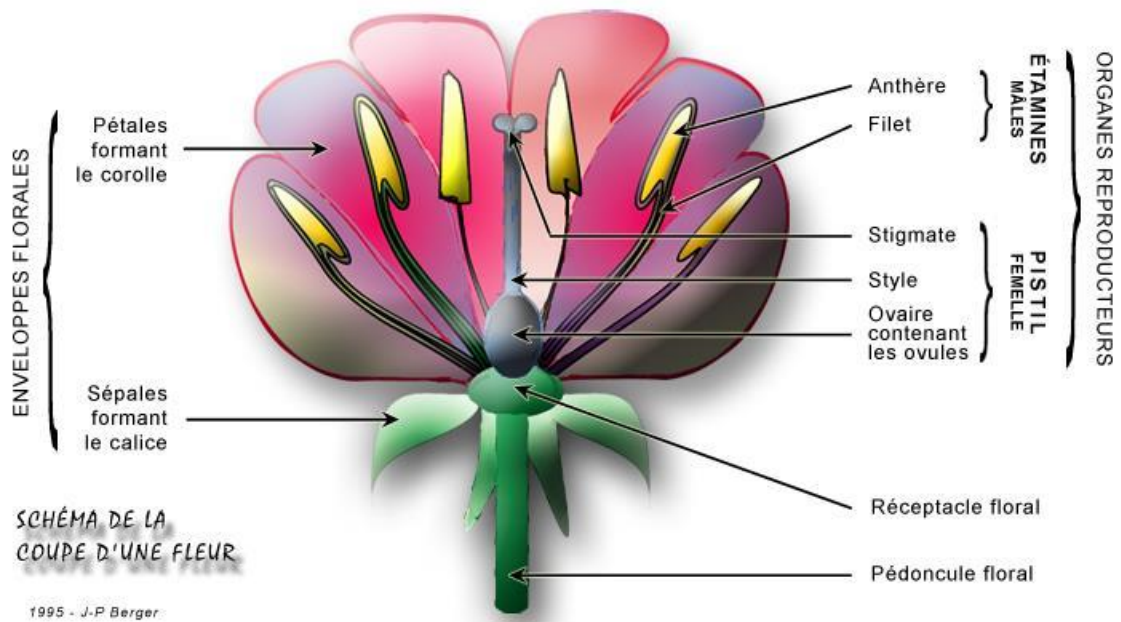


Figure n°139 : Schéma de la coupe d'une fleur par Berger (47)



Figure n°140 : Sommité florifère et fructifère de la cameline d'après Frère Blouin Alexandre (125)

Pour l'appareil végétatif, ce sont généralement des feuilles isolées alternes, souvent très divisées, riches en dérivés du soufre. Au niveau de l'appareil reproducteur, les fleurs sont le plus souvent regroupées en grappe.



Les fleurs sont hermaphrodites, actinomorphes (plusieurs axes de symétrie) et souvent tétramères (quatre pièces florales). Le calice est composé de quatre sépales libres entre eux. La corolle se caractérise par quatre pétales libres disposés en croix (d'où l'ancien nom de famille : Crucifères).



L'androécie (appareil reproducteur mâle) possède six étamines tétradynames : *tétra* pour 4 et *dynamo* pour la force, la puissance. (2+4 : les quatre au centre sont plus hautes que les deux en périphérie). D'après Michot Norbert-Louis (210), « la tétradynamie renferme toutes les plantes ayant 6 étamines inégales, 4 grandes et 2 petites. Les 4 grandes sont réunies par paires et séparées par les 2 plus courtes qui sont également opposées ».



Le pistil ou gynécée (appareil reproducteur femelle des fleurs) a deux carpelles ouverts.



Le fruit le plus souvent rencontré est la silique (ou la silicule), elle est de différentes formes en fonction des genres. La silique est un fruit sec qui s'ouvre de part et d'autre des placentas par quatre fentes. La silique est plus longue que large alors que la silicule est aussi longue que large.



La racine est blanche, pivotante et très profonde.

Source des images : extrait du livre : *Deutschlands Flora in Abbildungen* de Sturm Jacob et Sturm Johann Georg (273)

La cameline est aussi appelée « sésame d'Allemagne », « petit lin », « cameline faux-lin », « sésame bâtard » ou « faux-lin de l'Ouest ». Parmi ces noms communs, les termes lin ou sésame sont souvent retrouvés, certaines espèces de lin et de sésame possédant des graines ressemblant à celles de la cameline. Par exemple, le lin a une graine de même forme et de même dimension que celle de la cameline : *Camelina alyssum*. Ce qui a conduit à présenter la forme sauvage de la cameline comme étant une mauvaise herbe des champs. Effectivement, la séparation des deux variétés de graines (lin & cameline) lors de la récolte du lin s'avère compliquée. Il y a eu une sélection artificielle des graines. A chaque récolte, les agriculteurs ont séparés les graines de lin et de cameline. Les formes sauvages de la cameline qui avaient des graines différentes de celles du lin se sont retrouvées séparées et éliminés du prochain semis. Ainsi, chaque année, seule les graines ressemblantes voir identique à la graine de lin ont pu continuer à ce développer. C'est un exemple de mimétisme vavilovien.

Il y a plusieurs espèces de cameline. Selon les critères botaniques, les formes sauvages et cultivées se distinguent par la taille de la graine et la morphologie du fruit. Les fruits sont piriformes et renferment une quinzaine de graines environ. La figure n°141 représente les trois espèces principales de cameline : *Camelina microcarpa*, *Camelina alyssum* et *Camelina sativa*.

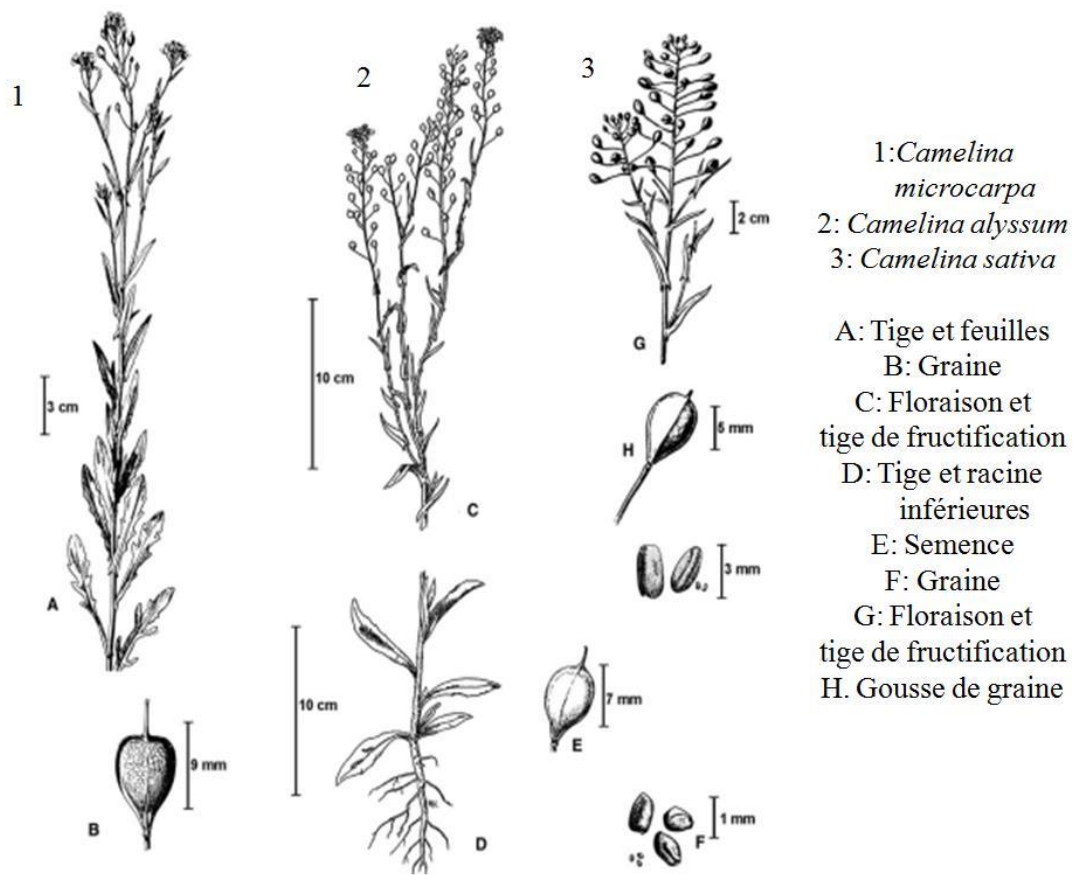


Figure n°141 : *Camelina microcarpa*, *Camelina alyssum* et *Camelina sativa* d'après A Francis et S.I Warwick (1)

Une gousse est « un fruit sec déhiscent, provenant d'un ovaire s'ouvrant par deux fentes, ventrale et dorsale » d'après l'université de Strasbourg (306) alors qu'une silique est un « fruit sec déhiscent provenant de deux carpelles et s'ouvrant au moyen de quatre fentes » toujours d'après l'université de Strasbourg (306).

Knörzer Karl-Heinz (178) a proposé en 1978 une hypothèse sur l'apparition de *Camelina sativa*. Elle serait l'un des résultats de l'hybridation de *microcarpa* et *alyssum* : les graines de *Camelina sativa* ont une taille intermédiaire entre celles des deux autres espèces. *Camelina microcarpa*, espèce à petites graines et *Camelina alyssum*, à grosses graines, sont encore considérées comme des mauvaises herbes dans certains pays comme le Canada.

La cameline (*Camelina sativa*) est une plante oléagineuse cultivée depuis longtemps. Son mode de pollinisation est essentiellement l'autopollinisation ou autogamie, c'est-à-dire que le pollen reçu par le stigmate est envoyé par la même fleur ou une fleur voisine issue de la même plante.

Il s'agit d'une plante herbacée annuelle avec une tige droite. La tige peut être lisse ou velue, elle va se ramifier et devenir ligneuse à maturité. Les feuilles sont sessiles (absence de pétiole), alternes, généralement embrassantes (limbe directement attaché à la tige) et lancéolées avec des nervures réticulées de 2 à 8 cm de long. La racine est blanche et en pivot (cf. figure n°142).



Figure n°142 : Racine de Camelina sativa (photo LS)

Camelina sativa ressemble un peu (surtout au niveau des fleurs) à une autre plante très connue de la famille des Brassicacées : le colza. Elle demande moins d'eau que le colza et résiste mieux aux fortes chaleurs. Elle résiste aussi très bien aux maladies.



Figure n°143 : Les fleurs de Camelina sativa (photo LS)

Camelina sativa a des petites fleurs jaunes (cf. figure 143) plutôt pâles et peut mesurer de 40 à 100 cm. Les mesures peuvent varier en fonction des génotypes (certains plants de cameline peuvent atteindre la taille de 2 mètres). Les fleurs comportent six

étamines. Les graines sont de couleur brun jaunâtre et de petite taille. Elles sont enfermées dans des siliques (chaque silique peut contenir jusqu'à environ 25 graines et a une longueur de 5 à 14 mm). Au cours du stockage, les graines peuvent devenir brun foncé/rougeâtre. C'est à partir des graines qu'on obtient l'huile.



Figure n°144 : Les boutons floraux de Camelina sativa (photo LS)

Les figures 142 à 144 sont le résultat d'un semis que j'ai réalisé le 14 avril 2018 dans un jardin de Courvaudon (Normandie) et des photos ont été prises tout au long de la pousse. Dans un second temps, j'ai semé de la cameline dans une parcelle à Rocquancourt avec de la moutarde. Le semis a été effectué le 22 septembre 2018.

En général, le semis peut se faire de mi-avril à mi-juin, en profondeur faible. Il existe des variétés de cameline de printemps et d'hiver. Les semences de ces dernières subissent des traitements thermiques pour modifier le cycle végétal.



Figure n°145 : Les jeunes plants de Camelina sativa à environ un mois à Rocquancourt (photo LS)



Figure n°146 : Les graines de *Camelina sativa* après la récolte de Courvaudon (photo LS)

La figure 146 représente les graines de la récolte de la cameline.

Des lipides extracellulaires sont présents dans la plante. Les chercheurs de l'équipe de Razeq (245) en 2014 ont voulu connaître plus précisément la composition des différentes cires de la plante. Ils se sont aperçus que la composition de la tige évolue en fonction de sa maturité comme montré par la figure et le graphique ci-dessous.

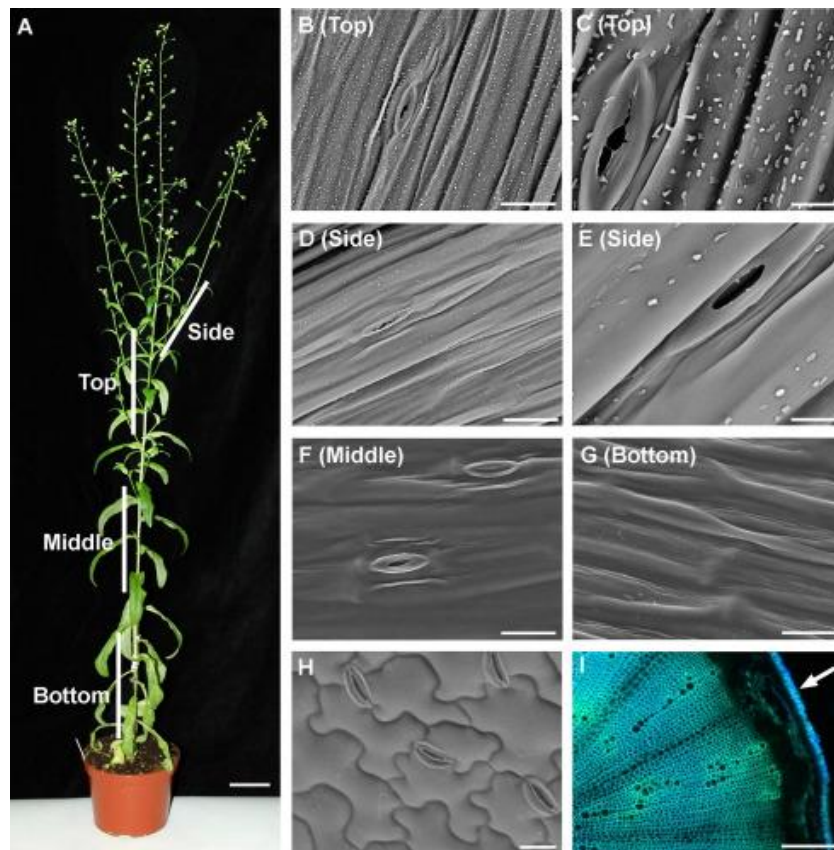


Figure n°147 : Les différents stades de la cameline avec des images de microscopie électronique à balayage (SEM) par Razeq (245)

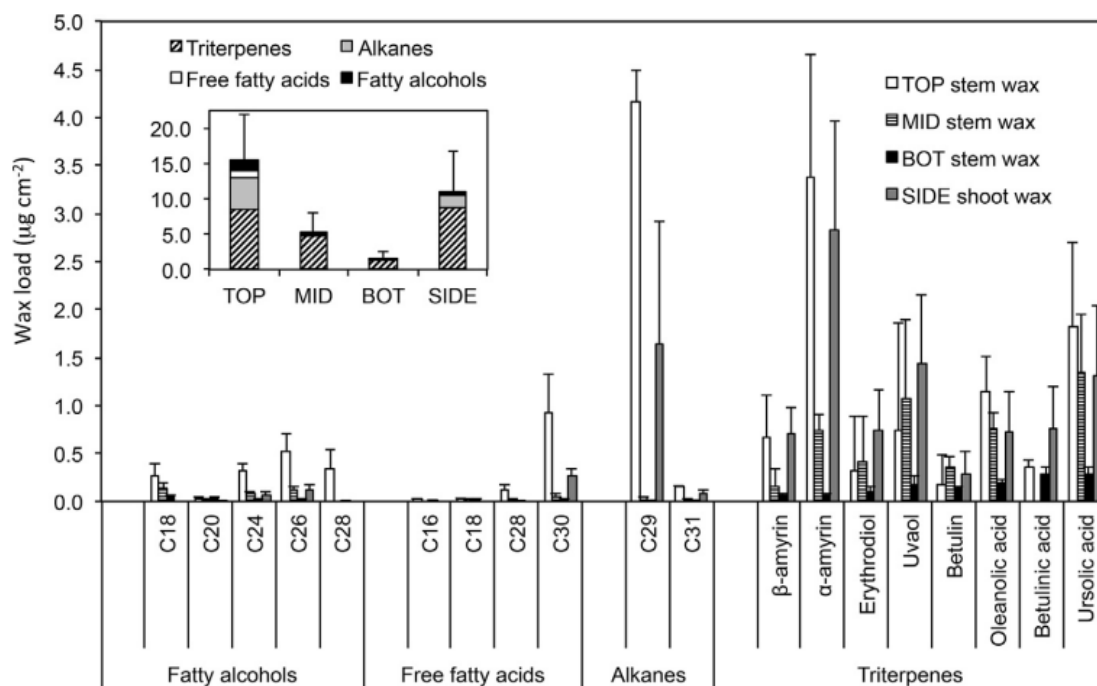


Figure n°148 : Composition en cire de la tige de la cameline par Razeq (245)

L'illustration de la plante correspond à une cameline âgée de huit semaines. Le stade le plus jeune est le *Bottom* (BOT). Les stades *Top* et *Side* sont des stades plus anciens. La cire intermédiaire est représentée par le *Mid*. Plus les tiges sont supérieures, plus la quantité de cire et la présence de cristaux est élevée. Cette différence de structure a un rôle : le fait d'avoir des surfaces épidermiques avec des petites rugosités à l'échelle microscopique va gêner l'adhésion des griffes des insectes et limiter la zone de contact entre l'insecte et la plante d'où une stabilité moindre. La présence de cristaux de cire sur la partie supérieure de la tige pourrait avoir un rôle dans un mécanisme de défense pour dissuader les insectes herbivores de s'approcher des organes reproducteurs.

C. Culture de la cameline

La culture de la cameline peut se faire seule ou en association.

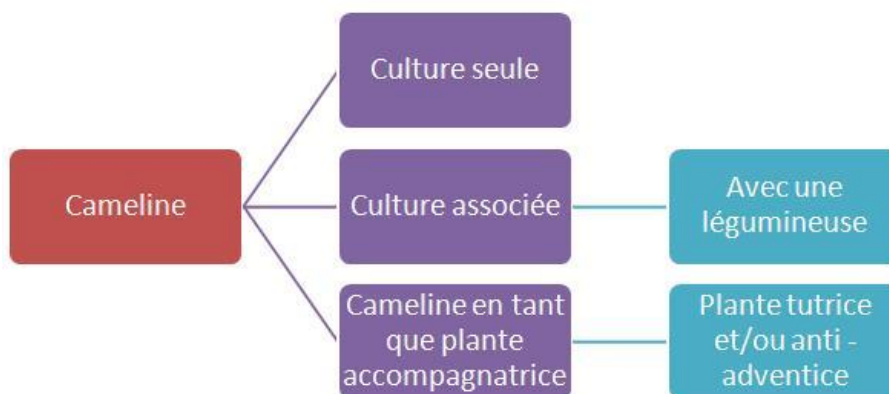


Figure n°149 : Cultiver la cameline en culture pure ou en association ?

La cameline constitue un point d'intérêt comme l'atteste le nombre de publications la concernant (cf. figure n°150).

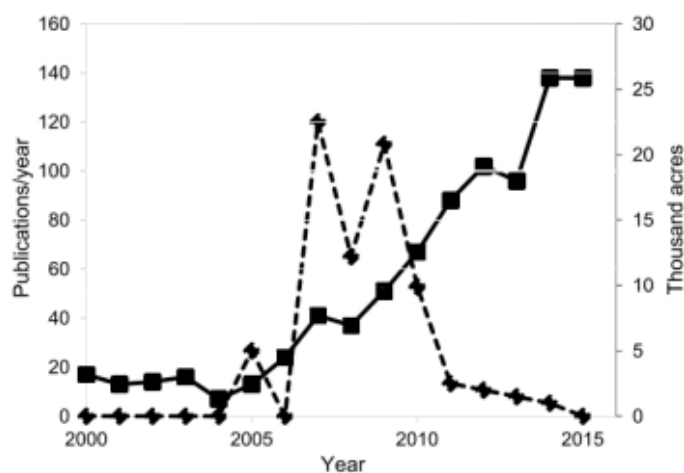


Figure n°150 : Nombre de publications sur la cameline (ligne pleine) et superficie dédiée à la cameline dans le Montana (ligne pointillée) d'après Faure & Tepfer (116)

Aujourd'hui, la production de cameline ne cesse d'augmenter, même si les surfaces cultivées restent petites. Elle s'est surtout développée au Canada et aux Etats-Unis. En ce qui concerne la production en France, elle a été relancée dans les années 1990 en Vendée. La cameline est commune mais peu cultivée sur le pourtour méditerranéen.

En quoi la culture de la cameline est intéressante ? Elle peut se faire seule ou en association. Au niveau des sols, elle n'est pas très exigeante, elle nécessite un faible besoin en azote d'où un apport moindre en engrais...

CAMELINE

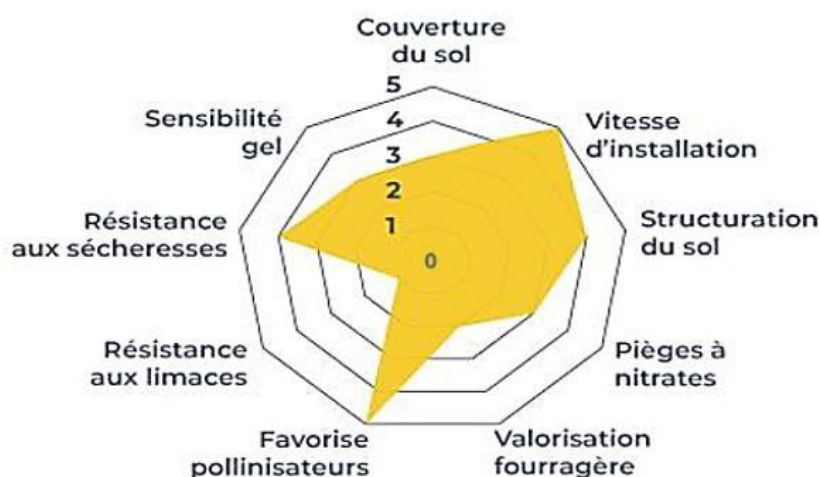


Figure n°151 : Quelques caractéristiques de la cameline d'après agronomie (14)

La figure ci-dessus nous indique quelques caractéristiques de la cameline :

- 0 correspond au fait que la cameline ne possède pas cette propriété.
- 5 en revanche, indique que la cameline détient cette qualité : ainsi la cameline possède une vitesse d'installation rapide. Elle résiste plutôt bien à la sécheresse et attire les pollinisateurs.

La cameline aime les sols légers à humides mais pas forcément les sols lourds. Elle supporte bien le sec mais pas l'humidité stagnante. En ce qui concerne les limaces, la cameline y est très sensible.

L'étude d'Hergert *et al.* (150) a pour objectifs de connaître les éventuels besoins en irrigation. Elle a été réalisée au Nebraska pendant quatre saisons sur deux endroits avec des sols différents : un sol sablonneux et un loam limoneux.

Il existe plusieurs types de sol en fonction du pourcentage d'argile et de sable. La figure suivante permet de les définir.

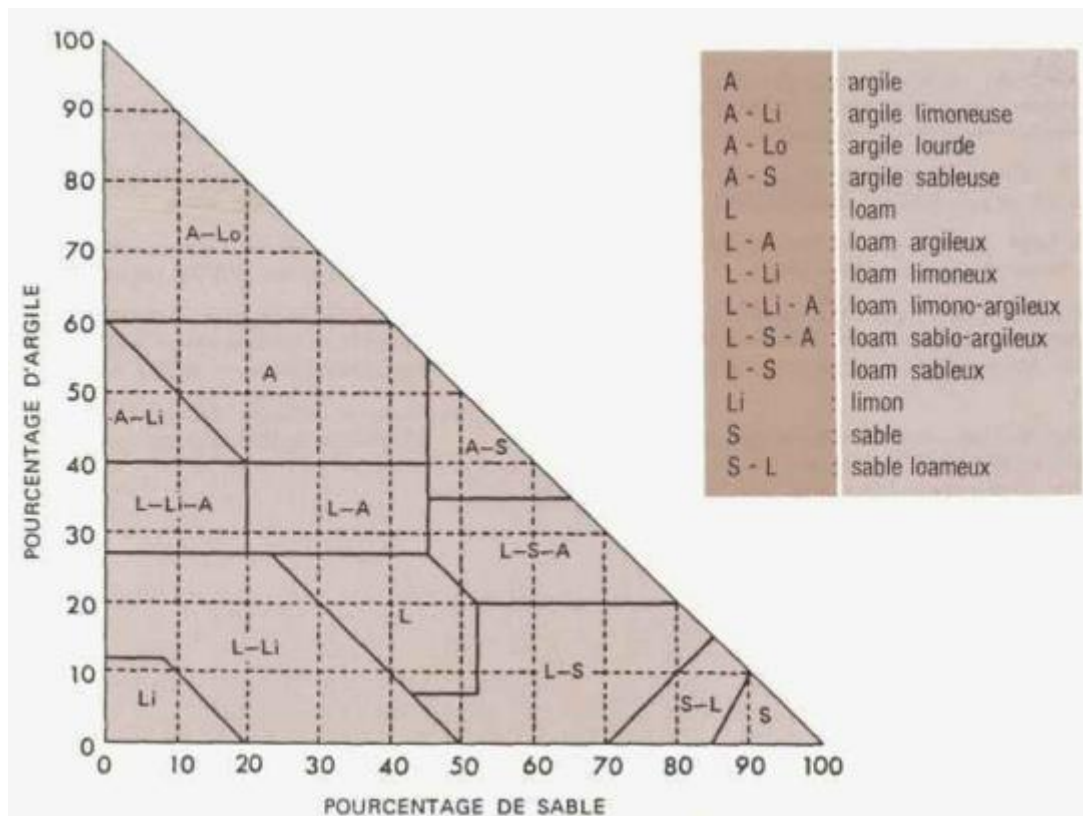


Figure n°152 : Système canadien de classification des sols en fonction du pourcentage d'argile et de sable (275)

Le loam est composé de sable (moins de 52 %, d'argile (entre 7 et 27%) et de limon (28 à 50 %)). En fonction des pourcentages, il pourra être qualifié de sablonneux, de limoneux ou d'argileux.

L'objectif de l'étude d'Hergert *et al.* (150) est de connaître les effets de l'irrigation. Le semis a eu lieu mi-avril, l'irrigation cumulative était de 0, 100, 200 et 300 mm. Les précipitations ont été très variables durant les quatre années. Le rendement est affecté par l'irrigation mais il est surtout lié aux précipitations saisonnières. Les scientifiques ont classé 2007 et 2008 comme des années sèches, 2009 et 2010 comme des années humides. Les rendements de 2009 et 2010 par rapport à l'irrigation n'ont montré aucun avantage. En revanche, en ce qui concerne les années sèches, il y a une relation. Le schéma suivant représente l'irrigation en fonction du rendement en graines de cameline sur les années 2007 et 2008.

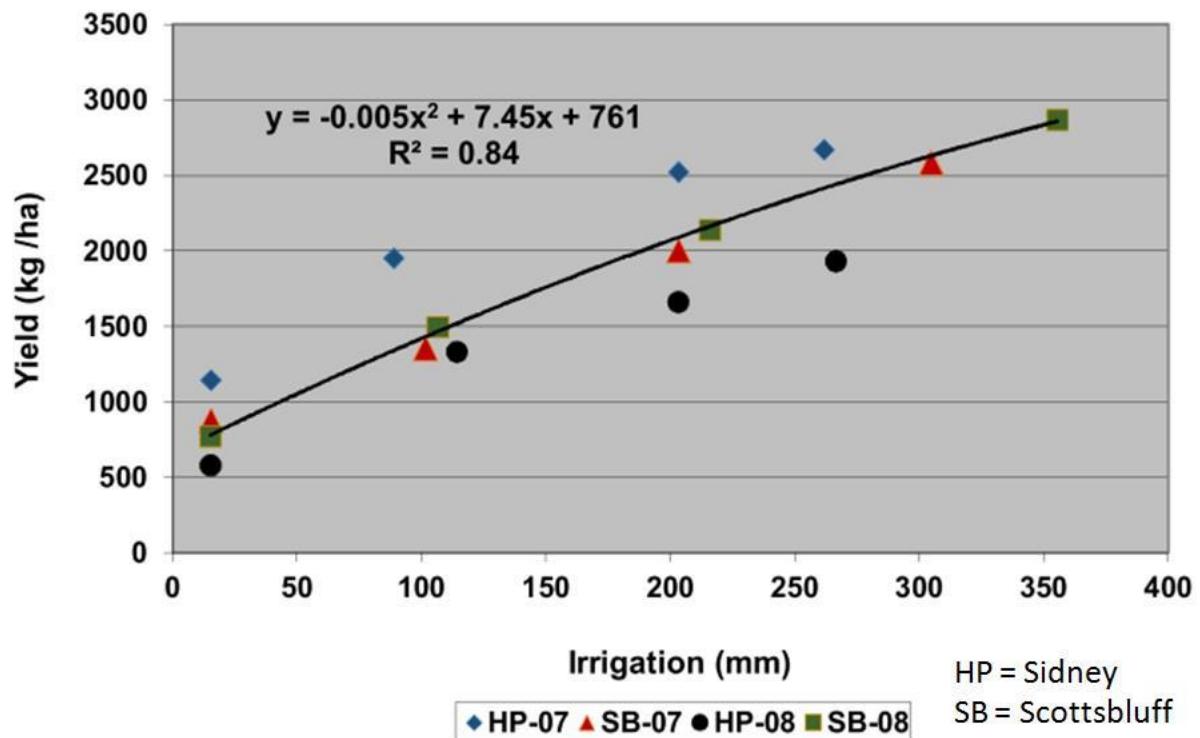


Figure n°153: Le rendement en cameline en fonction de l'irrigation d'après Hergert et al. (150)

L'augmentation de l'irrigation entraîne une hausse du rendement. Scottsbluff et Sidney sont des villes de l'ouest du Nebraska. Par exemple, sur le site de Scottsbluff en 2007 avec une irrigation à 100 mm, le rendement est d'environ 1 400 kg/ha alors qu'avec 200 mm, soit le double, il passe à 2 000 kg/ha. A noter que le prix de l'eau et celui de la graine sont à prendre en compte pour évaluer la rentabilité de la cameline.

Cas particulier : la génétique

De nombreuses recherches se sont intéressées à la génétique. La culture de la cameline doit être attractive pour les agriculteurs et les industriels et cela nécessite une variété à teneur élevée en huile et une concentration augmentée en AG. La qualité de la graine est un paramètre important, il faut que la graine soit adaptée aux engins que les agriculteurs possèdent déjà (semoir, moissonneuse batteuse...). L'achat de matériel spécifique serait un énorme frein à son développement.

L'étude de Vollmann *et al.* (314) a eu lieu dans l'est de l'Autriche. Deux sites ont été choisis : Gross Enzersdorf en 1997 et 1998 et Raasdorf pour l'année 1999. Il y a eu 30 génotypes pour 1997-1998 et 60 génotypes pour l'année 1999. Les semis avaient lieu, soit la dernière semaine de mars soit la première semaine d'avril. Les récoltes se sont effectuées

entre le 15 et le 31 juillet. Les génotypes ont été évalués dans trois environnements et représentent différentes lignées :

- des lignées issues de croisements entre grosses et moyennes graines avec un poids important,
- des lignées avec de fortes teneurs en huile,
- et une lignée témoin.

Les lignées avec les graines de poids important avaient un rendement moindre et une teneur en huile réduite. La teneur en acide α -linoléique (C18 :3) allait de 25 à 42 % et les lignées qui en étaient les plus riches, étaient celles à petites graines. La concentration des divers AG a varié aussi en fonction des conditions de culture comme le montre le tableau ci-dessous.

Overview of variation in individual fatty acid concentration in three different macro-environments ($n=30$ genotypes in 1997 and 1998, $n=60$ genotypes in 1999)

Parameter	Fatty acid concentration (%)										
	C 16:0	C 18:0	C 18:1	C 18:2	C 18:3	C 20:0	C 20:1	C 20:2	C 20:3	C 22:0	C 22:1
Gross Enzersdorf 1997											
Minimum	5.74	2.47	15.55	15.95	25.25	1.38	14.64	1.71	1.09	0.31	2.31
Maximum	7.64	3.60	20.51	21.36	32.06	2.10	18.30	2.57	1.75	0.47	4.38
Mean	6.79	3.04	18.00	18.66	28.54	1.65	16.18	2.15	1.40	0.37	3.22
CV (%)	5.91	7.14	6.89	6.77	6.14	10.92	6.12	9.06	11.22	9.34	15.13
Gross Enzersdorf 1998											
Minimum	5.27	2.35	13.95	14.34	27.15	1.31	14.77	1.72	1.27	0.29	2.44
Maximum	7.51	3.47	19.54	20.21	35.47	1.91	18.23	2.59	1.97	0.49	4.30
Mean	6.59	2.83	16.75	17.57	31.01	1.59	16.08	2.24	1.64	0.38	3.31
CV (%)	6.54	7.89	7.17	7.81	6.27	9.22	6.23	8.18	10.40	9.55	14.49
Raasdorf 1999											
Minimum	4.51	1.92	11.89	13.49	29.12	0.99	12.54	1.59	1.07	n.d. ^a	2.11
Maximum	6.09	2.97	17.08	21.23	42.52	2.04	16.90	2.36	2.04	n.d. ^a	3.99
Mean	5.54	2.35	14.47	17.12	38.21	1.32	14.45	2.01	1.64	n.d. ^a	2.90
CV (%)	5.28	7.94	8.31	8.96	6.89	13.25	6.67	7.07	12.73	n.d. ^a	15.81

^a Not determined in 1999.

Tableau n°47 : Composition en acides gras de différentes lignées de cameline d'après Vollmann et al. (314)

L'année 1999 est l'année où la teneur en acide α -linoléique est la plus importante et la teneur en acide érucique (C22 :1) est la plus faible. La teneur en acide érucique varie à l'inverse de la teneur en AG en C16 et C18 et dans le même sens que la teneur de tous les AG en C20. Les résultats de l'étude nous indiquent que la teneur en AGPI est favorisée par de basses températures pendant la période de remplissage des graines (de la fin de la floraison à 10 jours avant la maturité complète) alors qu'avec des températures élevées, c'est la concentration en AGS qui augmente. Quelle que soit la lignée choisie, le climat sous

lequel va pousser la cameline joue un rôle très important sur la qualité de l'huile et sa composition.

Des études se sont intéressées à la fois au lieu de semis et à différentes lignées comme cet essai mené en Europe et au Canada par Zanetti Federica *et al.* (324). Ils ont testé neuf génotypes dans différents endroits : la Grèce, l'Italie, la Pologne et le Canada (sur cinq localisations) durant deux saisons : 2015 et 2016. Les chercheurs se sont penchés sur le rendement en graines, la composition de l'huile, la teneur en huile et en protéines des graines. Durant la deuxième saison, en Italie, peu avant la récolte, il y a eu une tempête de grêle entraînant une réduction du rendement d'environ 40 %. Le caractère le plus significatif pour la productivité est le rendement en huile et le caractère le plus important pour la composition est la localisation. Ensuite, il y a le génotype. En revanche pour le poids de la graine, c'est le génotype qui est le plus important (787-06 et 787-08 ont produit les plus grosses graines). Il y a deux paramètres qui varient beaucoup : le rendement en graines et le rendement en huile. La figure ci-dessous montre le rendement en graines (*seed yield*) des deux années consécutives et le rendement en huile (*oil yield*).

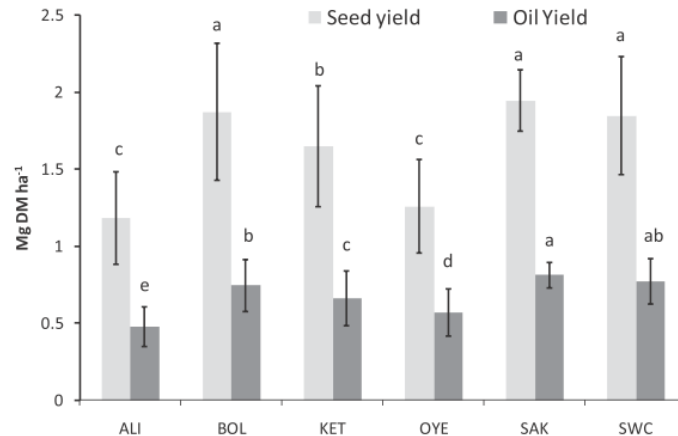


Figure n°154 : Rendement en graines et en huile de divers sites par Zanetti Federica *et al.* (324)

Les rendements les plus élevés se sont situés sur le site de SAK (Canada) et BOL (Italie). Le site de SWC (Canada) en 2015 est le site avec le meilleur rendement (2,22 Mg MS ha⁻¹). La deuxième figure représente le rendement des graines et de l'huile en fonction des génotypes testés.

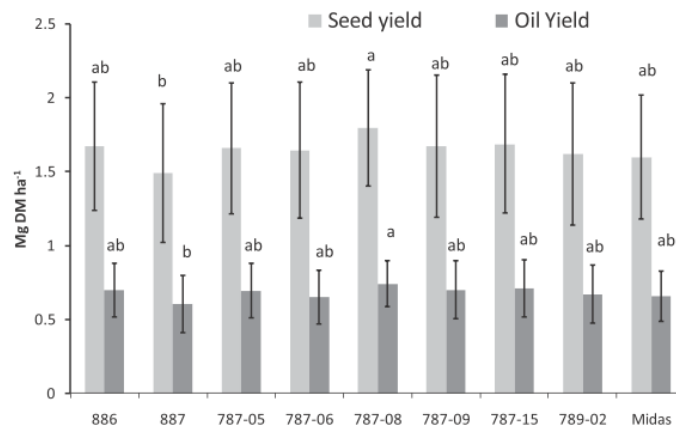


Figure n°155 : Rendement en graines et en huile en fonction du génotype par Zanetti Federica et al. (324)

Le génotype 787-08 est celui qui a le meilleur rendement sur presque tous les sites avec un rendement moyen en graines de 1,79 Mg DM ha⁻¹ et le génotype 887 est celui qui a le moins bon rendement (1,49 Mg DM ha⁻¹). Il y a une différence significative seulement entre ses deux rendements. Au niveau de la composition de l'huile, les localisations avec des températures plus froides durant la période de remplissage comme le site OYE (Canada) et KET (Pologne) ont plus d'acide α -linoléique et d'AGPI que les sites méditerranéens comme ALI (Grèce) ou BOL (Italie).

Au niveau des génotypes testés, les lignées 887 et 789-02 ont présenté un profil d'AG significativement différent avec une teneur plus élevée en acide oléique et ALA mais réduite en LA. D'autres études sont nécessaires pour tester d'autres génotypes, en particulier la lignée 787-08 qui semble très prometteuse.

1. Monoculture

En Slovénie, la culture de la cameline a été maintenue au fil du temps. D'après l'article de Rode (251), dans les années 2000, il restait environ une vingtaine d'agriculteurs qui continuaient cette culture à l'ancienne avec un seul engrais : le fumier. Il est épandu dans les champs lors de la préparation du sol. La récolte a lieu quand 80 % des têtes de graines sont jaunes à brun clair. Les plantes vont être mises sous un toit pour sécher puis ensuite battues pour séparer les graines. Les graines obtenues sont nettoyées, séchées et stockées. Avec ce type de culture, le rendement varie de 400 à 800 kg/ha. Pour obtenir l'huile, les agriculteurs vont broyer les graines avec un volume égal d'eau puis chauffer la pâte obtenue entre 60 et 90 °C. Le pressage du pâton permet d'obtenir l'huile. L'huile va

être décantée et filtrée. Elle sera vendue le plus souvent à la population locale. Les habitants l'utilisaient et certains l'utilisent encore pour combattre les ulcères de l'estomac, pour le traitement des brûlures, des plaies, des inflammations oculaires et comme tonifiant.

Ce rendement en graines varie énormément en fonction des conditions météorologiques et d'autres paramètres. Lorsque les conditions sont optimales, celui-ci peut avec nos méthodes actuelles de cultures dépasser les 2 tonnes à l'hectare. Il peut descendre à 1,2 t/ha après une période où les apports en eau ou en éléments nutritifs sont limités.

Aux Etats-Unis, la production de cameline s'est développée plus particulièrement dans l'état de l'Oregon et du Montana. La carte ci-dessous montre les états où *Camelina sativa* est cultivée en 2008.



Figure n°156 : Répartition de *Camelina sativa* aux Etats-Unis en 2008 d'après A Francis et S.I Warwick (1)

Dans l'Oregon, la production de certaines espèces de colza sont interdites dans plusieurs parties de l'état. Les agriculteurs ont donc cherché une autre oléagineuse capable de pousser sur leurs terres et la cameline s'est imposée comme un bon substitut.

Dans le Montana, la superficie de production de cameline était de plus de 4 000 ha en 2006 et d'environ 20 250 ha en 2007 soit une hausse de plus de 500 %.

D'après les travaux de D.T Ehrensing et S.O. Guy en 2008 (106), des températures aussi basses que 12 °F (ce qui correspond à -11 °C environ) alors que le semis a eu lieu, n'ont eu aucun effet néfaste sur les graines. La résistance des graines au gel en fait un avantage

pour son développement. La germination se fera quand la température du sol aura atteint 38 °F (environ 3,3 °C). Si la cameline est semée plus tôt, les rendements seront accrus en graines et la teneur en huile sera plus élevée.

a) Type de semoir

Une étude canadienne d'Urbaniak S.D *et al.* (307) en 2008 s'est intéressée à plusieurs paramètres dont la date des semis, le taux de semis et le type de semoir. Cette expérience a été menée dans les provinces Maritimes. Le taux de semis ainsi que la date d'ensemencement sont des variables importantes à connaître pour les agriculteurs afin d'obtenir le meilleur rendement possible et pour favoriser l'implantation de la culture de la cameline dans la région.

Type de semoir	Nombre de plants (au m ²)
Semoir à fourrage	293
Semoir à double disque	174

Tableau n°48 : Le nombre de peuplement en fonction du type de semoir d'après d'Urbaniak S.D *et al.* (307)

Le semoir à fourrage a permis d'avoir plus de peuplement que le semoir à double disque avec une différence qui est significative.

b) Taux de semis

Une autre partie de l'étude d'Urbaniak S.D *et al.* (307) a testé quatre taux de semis: 200, 400, 600 et 800 graines / m². Le taux de semis a joué un rôle sur le peuplement et le rendement. Plus le semis est important, plus le peuplement augmente. Le plus haut rendement a été obtenu avec le semis à 600 graines / m². Cette variable est importante à connaître puisque le prix de la graine est à prendre en compte pour calculer la rentabilité d'une culture. Un autre point important est la composition en AG de l'huile de cameline : quel que soit le taux de semis, elle n'a pas varié significativement. Enfin, la date de semis n'a pas eu d'effets (période testée de mai à juin) pour cette région.

En Irlande, les chercheurs Crowley J.G. and Fröhlich A (90) ont fait des tests en 1998 pour évaluer le taux et les dates d'ensemencement de la cameline. Ils ont testé trois taux de semis : 5, 8 et 11 kg/ha avec six dates d'ensemencement allant de mi-mars à mi-juin. Les

dates optimales vont de mi-mars à mi-avril. En ce qui concerne les taux, il n'y a eu aucune différence significative. On conseillera donc le taux le plus faible pour éviter d'avoir à acheter trop de semences.

D'après l'étude de Malhi S.S *et al.* (201) réalisée en 2014, dans l'ouest canadien, le taux de semis le plus adapté se situe entre 3 à 7 kg/ha pour obtenir une densité de plants entre 125 et 200 plants / m². La plante ayant un cycle court pour arriver à maturité (entre 85 et 100 jours), la récolte a lieu environ trois mois après. Il est possible de la cultiver en sol pauvre d'où la possibilité d'incorporation dans les systèmes de cultures dits doubles.

Le taux de semis va dépendre de plusieurs paramètres dont le climat et la date de semis.

c) *Date du semis*

En Italie, un essai réalisé sur trois ans par Angelini *et al.* (1992-1995) (21) avait pour but de mieux prendre en compte les caractères agronomiques et la composition de l'huile de différentes cultures dont l'huile de cameline.

Variation in agronomic and chemical characteristics of *Camelina sativa* (L.) Crantz accessions

Parameter tested	1992		1993		1994	
	Mean \pm S.E.	Variation ^a	Mean \pm S.E.	Variation	Mean \pm S.E.	Variation
Days to flower	61 \pm 3	45–72	27 \pm 2	17–37	34 \pm 1	25–44
Days to harvest	73 \pm 4	54–109	64 \pm 2	49–72	59 \pm 1	50–70
Plant height (cm)	63.0 \pm 1.0	40–80	54.7 \pm 1.1	40–69	46.8 \pm 1.3	23–72
1000-seed weight (g)	0.92 \pm 0.1	0.83–1.10	1.04 \pm 0.1	1.0–1.1	0.7 \pm 0.1	0.5–0.9
Seed yield (g plant ⁻¹)	0.7 \pm 0.1	0.5–0.9	0.5 \pm 0.1	0.2–1.2	0.8 \pm 0.1	0.5–1.1
Oil (%)	27.5 \pm 0.5	26.3–29.2	33.0 \pm 0.7	31.3–34.5	23.6 \pm 0.5	17.1–26.6
Fatty acids (% of total)						
Oleic (C18:1)	13.8 \pm 0.4	14.2–13.4	12.8 \pm 0.1	12.7–12.9	15.1 \pm 0.3	14.2–16.8
Linoleic (C18:2)	19.7 \pm 1.7	18.1–21.4	18.7 \pm 0.1	18.4–19.1	25.9 \pm 0.9	21.3–29.0
Linolenic (C18:3)	32.8 \pm 1.6	31.3–34.4	34.7 \pm 0.1	34.6–34.8	25.5 \pm 1.0	21.6–30.2
C20:1	16.9 \pm 1.1	15.6–17.8	14.2 \pm 0.1	14.1–14.3	11.9 \pm 0.2	11.2–12.6

^a Variation is shown with the lowest and the highest values obtained for the tested accessions.

Tableau n°49 : Variations de différents paramètres de culture de la cameline et de la composition de l'huile obtenue d'après Angelini et al. (21)

Dans le tableau n°49, la composition en huile, le nombre de jours avant la floraison (*days to flower*), le nombre de jours avant le rendement en graines (*days to harvest*), la hauteur de la plante (*plant height*), le poids de 1000 graines (*1000 seed weight*) ou le rendement en graines (*seed yield*) sont présentés. Le semis a eu lieu plus tôt en 1992 que les

deux années suivantes. Un semis tardif a eu pour conséquence une diminution de la hauteur des plantes (de 63 cm en 1992 à 46,8 cm en 1994) et un cycle de croissance plus court (59 jours en 1994, 64 jours en 1993 et 73 jours en 1992). En 1994, en plus, il y a eu une sécheresse ce qui a provoqué une perte de poids de la graine. La teneur en huile a varié de 23,6 % en 1994 à 33 % en 1993.

Au Montana, l'intérêt de la cameline augmente bien que souvent considérée comme une mauvaise herbe. La cameline est tolérante à la sécheresse, au gel printanier et semble plus résistante à l'altise que d'autres oléagineuses. Son rendement est sensible à la date de semis comme le montre le graphique ci-dessous tiré de l'étude réalisée par K.A. McVay (172) en 2008 sur deux sites distinct situés au Montana. A noter que la date de semis n'était pas la même pour les deux sites.

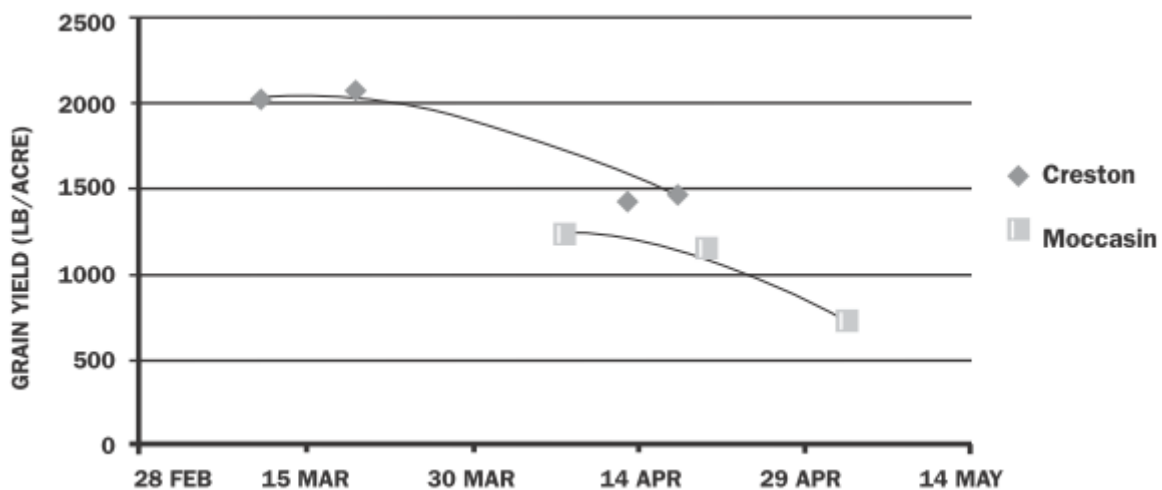


Figure n°157 : Date optimale des semis en fonction du rendement d'après K.A. McVay (172)

Pour Creston, la date optimale se situe entre le 15 et le 20 mars. Pour la ville de Moccasin, la date optimale est aux alentours de début avril et les rendements sont inférieurs. Durant les tests, aucun herbicide n'a été utilisé, aucun n'était autorisé.

Toujours au Montana, les autorités agricoles ont conseillé une rotation des cultures de cameline, celle-ci pourrait être semée dans les mêmes parcelles tous les quatre ans au maximum. Cette rotation est nécessaire pour éviter qu'elle se trouve attaquée par différentes maladies qui ne la touchent pas actuellement. La cameline rentre parfaitement dans le cycle de rotation du blé, ce qui est important puisque le blé est très cultivé dans cette région.

Les différentes études nous montrent qu'en fonction de la zone géographique, la date et le taux de semis peuvent varier. Il est donc important de les déterminer pour que la production de cameline soit viable et rentable pour l'agriculteur.

2. Culture en association

La plantation de cameline existe sous plusieurs formes : elle peut être cultivée seule ou associée à d'autres plantes (comme la lentille, la moutarde ou le blé par exemple). En revanche, certaines rotations sont à éviter comme avec le colza ou la betterave. En règle générale, les rotations se font avec des plantes de familles différentes ceci pour éviter notamment la prolifération des maladies.

La cameline va amener un recouvrement du sol plus important d'où une moindre prolifération des mauvaises herbes. Au nord de la Loire, plusieurs associations de plantes ont été testées avec le soja pour lutter contre les adventices dans l'agriculture biologique. D'après François Boissinot (chargé d'études à la chambre d'agriculture des Pays de la Loire) (187), la meilleure association est le soja-cameline. La cameline va démarrer très vite, atteindre environ la même taille que le soja et les deux plantes peuvent être récoltées en même temps. Les travaux sur cette association vont continuer pour trouver notamment une technique de semis adaptée et optimiser la densité de semis.

En Normandie et dans d'autres régions de France, la cameline est associée à la culture de la lentille (cf. figure n°158). La lentille (*Lens Culinaris*) fait partie de la famille des Fabacées. Il existe plusieurs variétés de lentilles (verte, noire, rosée...). Elles sont utilisées en alimentation humaine et sont riches en protéines, en vitamine B, en phosphore et en fibres.



Figure n°158 : L'association entre Lens Culinaris et Camelina sativa d'après la ferme du Mont d'Or (182)

L'un des soucis de la culture de la lentille est la fragilité de la tige, celle-ci se plie voir se casse facilement d'où un problème lors de la récolte. Le rôle principal de la cameline va être de lui servir de tuteur. Elle va aussi permettre d'avoir une parcelle plus propre. Attention toutefois au dosage de la cameline, s'il est trop important la cameline risque d'étouffer la lentille et les mauvaises herbes. L'association est possible puisque leurs durées de culture sont similaires. Pour le semis, on va débiter par celui de la lentille à 2-3 cm de profondeur puis celui de la cameline à 1-1,5 cm de profondeur. Il sera nécessaire de passer le rouleau après pour faciliter la récolte. Cette opération aplanit le sol. La récolte est faite vers la fin de juillet ou au début août. Le battage est effectué à petite vitesse. La séparation des graines est faite très rapidement à cause des taux d'humidité (8 % pour la cameline et 16 % pour la lentille). La cameline augmente le stock grainier du sol, les graines de cameline sont très fines et le tri se fait aisément après la récolte avec un séparateur à grille. Le rendement en cameline sera inférieur à un rendement où la cameline serait en monoculture. Cette association permet quand même d'avoir deux rendements sur la même parcelle. En Loire-Atlantique, Aurélie Bouligand (296), productrice nous indique que : « Pour un hectare et demi de lentilles, nous avons au final 500 kg vendables. Nous les écoupons sur les marchés à 4,50 € le kilo, ainsi que 140 litres d'huile de cameline à 16 € le litre. »

Avantages et Inconvénients sont réunis dans le tableau suivant.

	Avantages	Inconvénients
Cameline en culture pure	Rendement élevé Peu de frais de battage et de triage	Rendements instables
Cameline associée avec légumineuse à graines	Rendement stable Effet tuteur de la cameline	Rendement plus faible en cameline Frais plus élevés pour le battage et le triage
Cameline en tant que plante accompagnatrice	Concurrence face aux mauvaises herbes Effet tuteur permettant de limiter la verse	Augmentation du stock grainier du sol par les graines de cameline

Tableau n°50 : Avantages et inconvénients de la culture de la cameline pure ou en association d'après Agridea (15)

Pour maximiser son rendement, la cameline peut être associée à d'autres cultures protéagineuses comme le pois protéagineux ou la vesce.



Figure n°159 : Représentation de la densité des plants de Camelina sativa (photo LS)

Cette image a été prise dans un jardin et illustre bien le recouvrement du sol. Nous avons laissé la cameline grainer pour voir si elle allait repousser et comment elle occuperait

le terrain par rapport aux mauvaises herbes qui s’y développeraient. Les plants de cameline ont repoussé avec une grande densité. Les orties présentes se sont fait dépasser et ont eu de moins en moins accès à la lumière du soleil.

3. Rotation des cultures

La cameline peut intervenir dans deux types de rotations : les rotations classiques c’est-à-dire sur plusieurs années ou dans des rotations à doubles cultures (sur une même année, il y aura deux récoltes dans la même parcelle). En général, la première culture est une céréale (blé, orge...), elle est récoltée vers juillet. Ensuite, la deuxième culture est semée.

Aux Etats-Unis, des chercheurs de l’équipe d’Obour *et al.* (227) ont étudié la place de la cameline comme jachère associée à la rotation des cultures de blé d’hiver. Le test a eu lieu dans cinq endroits différents dans les Grandes Plaines (partie centrale des Etats-Unis à l’est des montagnes Rocheuses) entre 2012 et 2015.

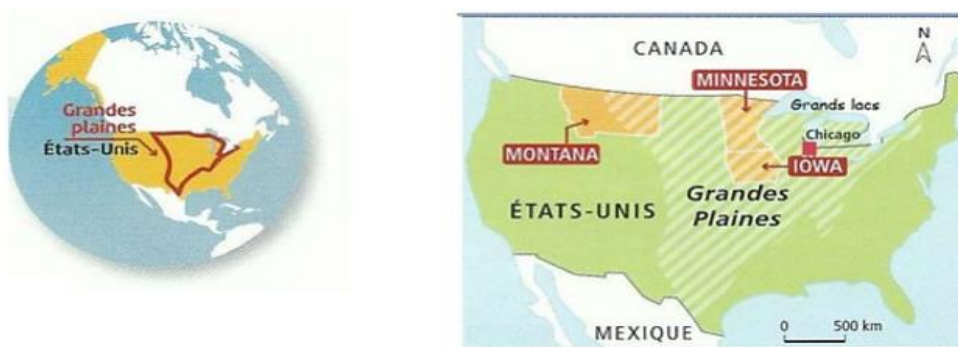


Figure n°160 : Les grandes plaines des Etats-Unis d’après carte du monde (65)

Les cinq sites sont : Hays, Havre, Huntley, Moccasin et Sheridan. Les sols sont assez différents pour avoir une bonne représentation géographique.



Figure n°161 : Les différents sites choisis au Montana d'après carte du monde (65)

Le blé et la cameline sont un bon exemple de rotation. La racine du blé utilise les ressources en faible profondeur alors que la cameline a une racine plus profonde, elle va donc se nourrir sur une autre couche du sol que le blé. Ceci laisse donc plus de temps à la terre pour se ressourcer. Plus la terre est riche en nutriments, en eau... et plus la culture se développe et meilleur est le rendement.

Le blé d'hiver et la cameline d'hiver étaient semés à l'automne entre septembre et mi-octobre en fonction du temps et la cameline de printemps entre la deuxième et la troisième semaine d'avril. Les résultats nous indiquent un rendement en blé inférieur de 17,6 % lorsque la cameline est semée à la place de la jachère. La concentration en protéines du blé n'a pas changé significativement que ce soit avec la jachère ou la cameline. D'autres études ont aussi signalé cette diminution de rendement. L'hypothèse qui expliquerait une partie voire la totalité de la modification, implique l'eau, la cameline utilisant plus d'eau que la jachère. De plus, les précipitations sont insuffisantes, ce qui est de plus en plus fréquent avec les périodes de sécheresse. Les rendements sont alors moins importants. Cette baisse de productivité en blé et le préjudice engendré peuvent être atténués voire compensés par la vente des graines de cameline.

Le rendement du blé en graines après la cameline d'hiver (WW-WCAM) est plus élevé que celui du blé après la cameline de printemps (WW-CAM). La cameline d'hiver est récoltée plus tôt que celle de printemps ce qui permet au sol de refaire des réserves en eau plus facilement. En revanche, la concentration en protéines du blé a diminué à Sheridan après la culture de la cameline printanière. A Hays, le taux de protéines n'a pas varié quelle que soit

la culture. Les résultats sont présentés dans la figure ci-dessous. La jachère est notée WW-FF.

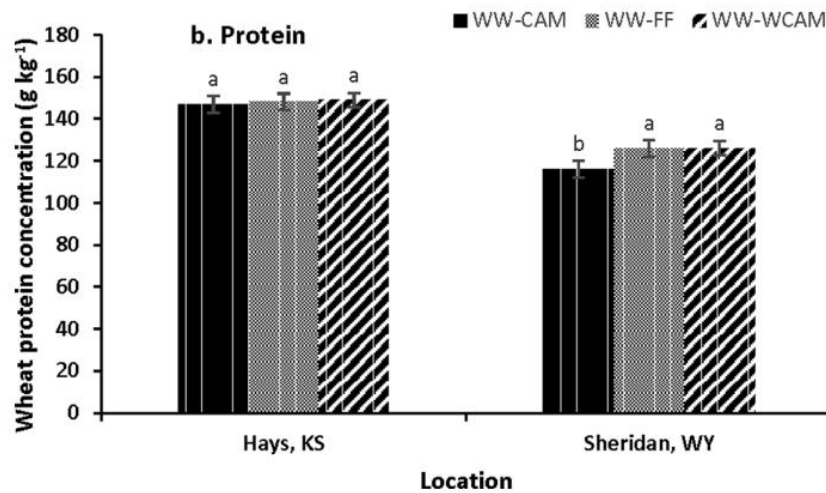


Figure n°162 : La concentration en protéines du blé à Hays et Sheridan après la culture de la cameline, expérience réalisée par Obour et al. (227)

Cette différence pourrait être due à l'azote résiduel du sol. La cameline d'hiver étant ramassée plus tôt que celle de printemps, la décomposition des résidus est plus avancée et enrichit le sol en azote. Ceci entraîne une augmentation en protéines du blé.

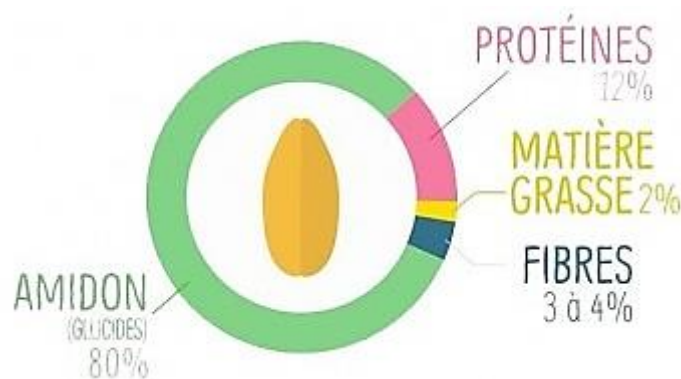


Figure n°163 : La composition moyenne de la graine de blé d'après Passion céréales (233)

La teneur en protéines du blé tendre est un critère qualitatif déterminant pour le céréalier et c'est de plus un enjeu commercial, le taux de protéines du blé entrant dans la fixation de son prix. Ceci est lié à l'accord « plan protéines blé tendre » du 3 décembre 2013. Il concerne tous les contrats à partir du 1^{er} juillet 2014 (date d'entrée en vigueur de l'accord). Un taux de protéines trop faible entraîne une diminution du prix d'achat du blé et donc une moindre rémunération pour les agriculteurs.

Ainsi, en France, pour la période entre septembre 2018 et avril 2019, un pourcentage de protéine d'au minimum 11 % est exigé pour ne pas avoir de diminution de son prix d'achat.

Taux de protéines du blé en %	Pénalité pour l'agriculteur en € par tonne
Entre 10,9 % et 11 %	0,5 €/t
Entre 10,4 % et 10,5 %	2,5 €/t
Inférieur à 10 %	5 €/t

Tableau n°51 : Extrait de la grille tarifaire d'après la Coopérative Agrial (84)

Pour mieux comprendre et illustrer ce propos, voici un exemple plus concret. La benne en photo ci-dessous peut livrer 15 tonnes de blé à chaque fois.



Figure n°164 : Photo d'une benne d'une capacité de 15 tonnes (photo LS)

Pour un taux inférieur à 10 %, c'est pénalisant pour l'agriculteur qui perd 75 € par benne. Un champ de dix hectares de blé permet de livrer 6 bennes en moyenne (ça va dépendre du temps, du type de blé...). Avec un mauvais taux de protéines, le céréalier va avoir un retrait de 450€ pour ce champ. Cette somme est une perte nette pour lui. Ceci nous montre que même si la cameline est intéressante en agriculture, il faut faire attention à son utilisation et à son intégration dans les cultures pour que le tout permette à l'agriculteur de mieux vivre de son métier.

4. Utilisations agro-environnementales

La réintroduction des plants de cameline dans les cultures a amené une question : les divers insectes/diptères ... vont-ils attaquer la culture ? Comment va se faire la pollinisation ? En Allemagne, une étude de Groeneveld et Klein (137) de 2014 s'est intéressée au potentiel de deux plantes : la cameline et le tabouret des champs.



Figure n°165 : La cameline (*Camelina sativa*)
d'après *Agronomie* (14)



Figure n°166 : Le tabouret des champs (*Thlaspi arvense*) d'après *IRIS phytoprotection* (165)

Le choix de ces deux plantes est lié à la possibilité de les insérer en tant que deuxième culture dans un système de double culture puisque leur cycle de croissance est rapide. Pour les régions tempérées, il est plus facile de les planter en été (de juin à septembre) après la culture des céréales d'hiver. Peu d'études ont abordé la question du système de reproduction et de la pollinisation de l'espèce. L'expérience a indiqué que la cameline est majoritairement auto-pollinisée. Les insectes ont préféré visiter les plants de cameline. Les abeilles à miel, *Apis mellifera*, les abeilles sauvages du genre *Lasioglossum* et *Hylaeus* sont les principaux visiteurs des fleurs. Les autres espèces de mouches ont préféré l'autre plante. Les abeilles mellifères n'ont visité que la cameline. Les insectes qui viennent sur les plants permettent d'avoir des graines en plus grand nombre et avec un poids plus élevée. C'est donc un paramètre important pour avoir une bonne récolte.

La cameline est capable de produire des composés anti nutritionnels (notamment des isothiocyanates non volatils) qui lui permettent d'avoir une réputation de plante assez résistante aux nuisibles. Une étude de Chesnais *et al.* (70) de 2014 s'est intéressée au potentiel de colonisation de différentes espèces de pucerons dans le nord de la France. Les

tests ont été réalisés en laboratoire. Les espèces comme *Aphis fabae* (Scop) et *Myzus persicae* (Sulzer) n'ont aucun souci pour se nourrir et se reproduire. *Rhopalosiphum padi* (L.) qui a tendance à préférer les céréales en temps normal, est adapté à la cameline. Ce sont tous des vecteurs de maladies ou de virus. La cameline n'est pas leur plante favorite mais s'il n'y a rien d'autre, ils vont s'y attaquer sans problème et créer des dommages. Il sera nécessaire de traiter les champs d'où un impact sur la biodiversité et le coût de la culture. Deux autres espèces de pucerons (*Brevicoryne brassicae* et *R.padi*) ont eu plus de mal à aller sur la cameline : ils y ont rencontré des composés dissuasifs, des flavones et des glycosides de quercétine. Le fait que les tests soient réalisés en laboratoire a empêché les pucerons de s'orienter vers la plante de leur choix.

Un grand nombre de pucerons sont reconnus comme vecteurs de virus de plante. Les phytovirus transmis par les pucerons font d'eux des importants ravageurs de cultures. La cameline est aussi touchée par ces virus.

L'unité de virologie de l'INRA de Colmar a publié un article (58) en 2018 qui explique la manipulation de la cameline par le virus de la jaunisse du navet (*Turnip yellows virus* ou TuYV). Ce virus est capable d'infecter environ 13 familles de plantes et son principal vecteur est *Myzus persicae*. Son mode de propagation nécessite le puceron : en mangeant la plante, il va la contaminer. Une fois le virus sur la plante, celui-ci va modifier la plante et elle émettra des odeurs pour attirer d'autres pucerons. Il est aussi capable de changer la composition chimique de la cameline pour qu'elle soit meilleure au niveau gustatif pour le puceron. Le phytovirus va inhiber les défenses de la plante. Le puceron en mangeant davantage va accumuler une charge virale plus importante.

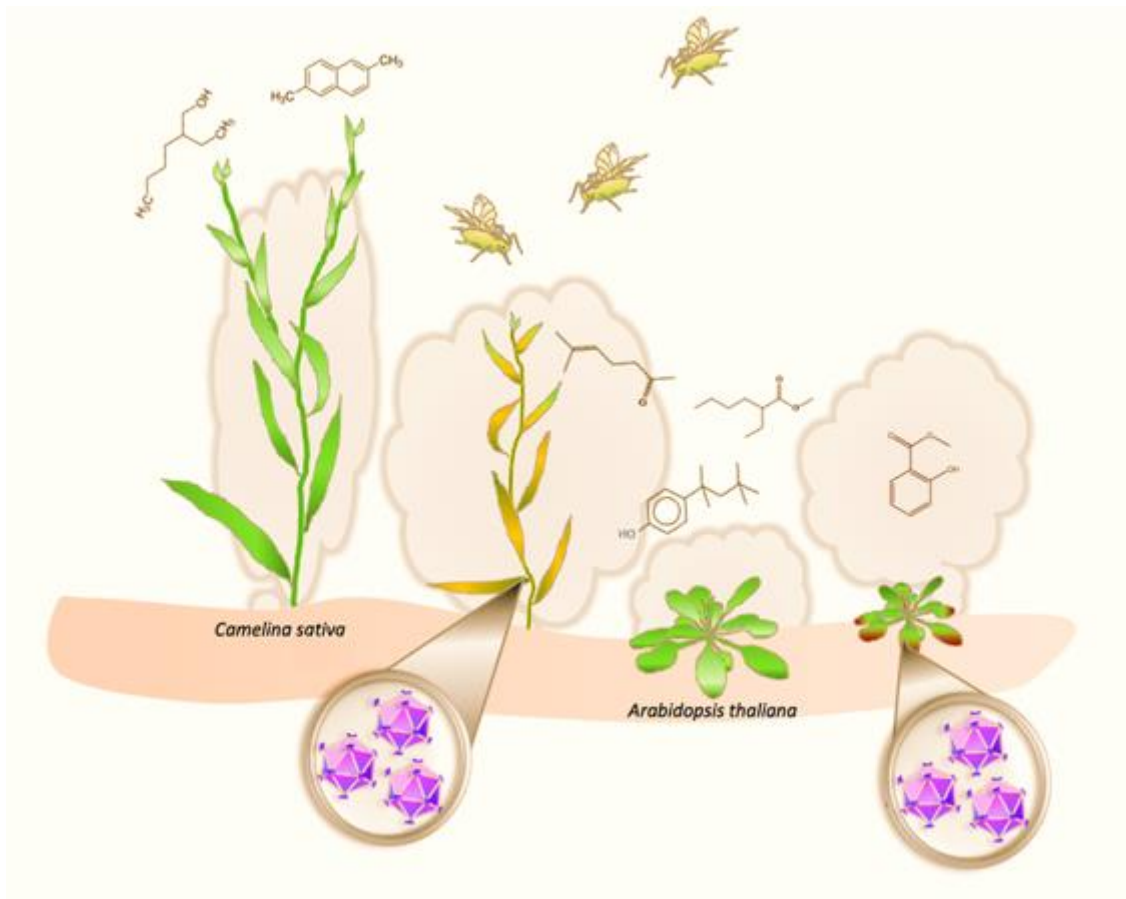


Figure n°167 : Illustration montrant l'attraction des pucerons par les Camelines infectées et non infectées par les Arabidopsis infectées d'après Brault Véronique (58)

La cameline à gauche de l'image est une plante saine qui émet des composants répulsifs. La cameline de droite est porteuse du virus et par conséquent, va émettre des composés attractifs pour les pucerons, ceci va favoriser la propagation du virus.

La perte de rendement peut aller jusqu'à 46 % chez certaines espèces de colza avec ce virus. L'étude de Moiroux Joffrey *et al.* (213) de 2018 s'est intéressé au virus de la jaunisse du navet, à la cameline, à son vecteur, le puceron vert du pêcher (*Myzus persicae*) et son parasitoïde (*Aphidius colemani*).



Figure n°168 : La guêpe (*Aphidius colemani*) et le puceron vert du pêcher (*Myzus persicae*) d'après Biocontrol (50)

Aphidius colemani est une guêpe parasitoïde du puceron vert du pêcher (*Myzus persicae*). La femelle va pondre ses œufs à l'intérieur du puceron juvénile ou adulte. La larve va manger les organes internes du puceron pour se développer. En 7 jours, le puceron va devenir une momie. Une nouvelle guêpe sortira du puceron parasité quelques jours après.

Les principaux résultats de l'étude sont :

- Une activité photosynthétique de la cameline réduite d'où un moindre développement de la plante
- Un meilleur taux de survie nymphal des pucerons infectés et une reproduction plus tôt que les pucerons sains
- Une taille corporelle réduite, une fécondité initiale retardée et une teneur en lipides moindre des femelles d'*Aphidius colemani* par rapport aux parasitoïdes qui se sont développés à l'aide de la cameline et de pucerons sains

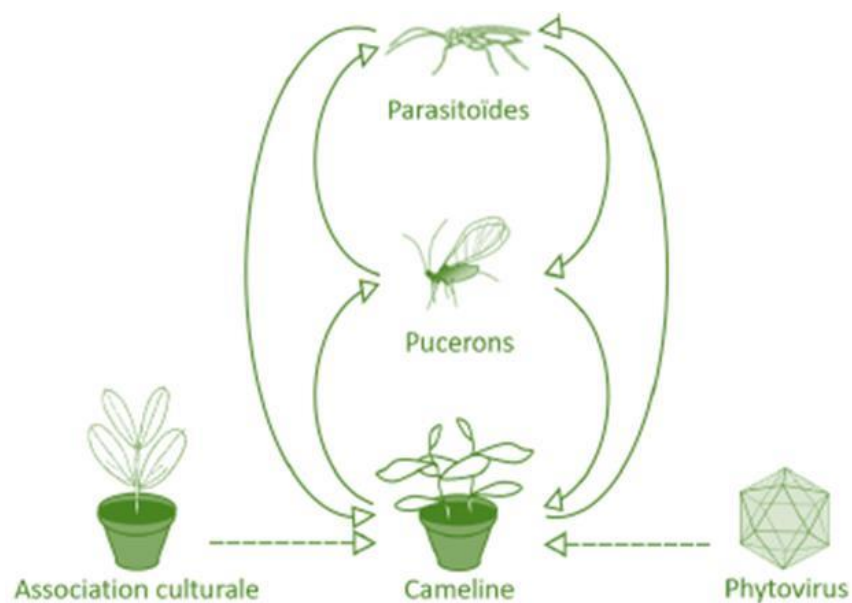


Figure n°169 : La relation complexe entre la cameline et divers éléments d'après Chesnais Quentin (69)

Les traits en pointillé concernent deux facteurs (culture en association et phytovirus) qui peuvent influencer les relations du complexe cameline / pucerons / parasitoïdes (trait plein).

Cette étude et la figure ci-dessus illustrent la complexité de la relation entre le virus, la plante, le parasite et le ravageur. Il est pourtant nécessaire de la comprendre pour pouvoir lutter efficacement contre les virus. La compréhension de ces mécanismes est très importante. Une fois que le phénomène est compris, les chercheurs peuvent créer une stratégie de lutte contre les virus. Pour l'exemple des pucerons, l'idée est de développer des plantes non-attractives voire répulsives des pucerons et qui le restent.



Figure n°170 : Parcelle atteinte de jaunisse nanisante de l'orge d'après l'institut du végétal (162)

Malgré son nom (virus de la jaunisse nanisante de l'orge), ce virus s'attaque aussi aux blés, à l'avoine et aux maïs. Ce virus entraîne un retard de croissance et une décoloration au niveau des feuilles. Ce virus s'attaque aussi à la cameline.

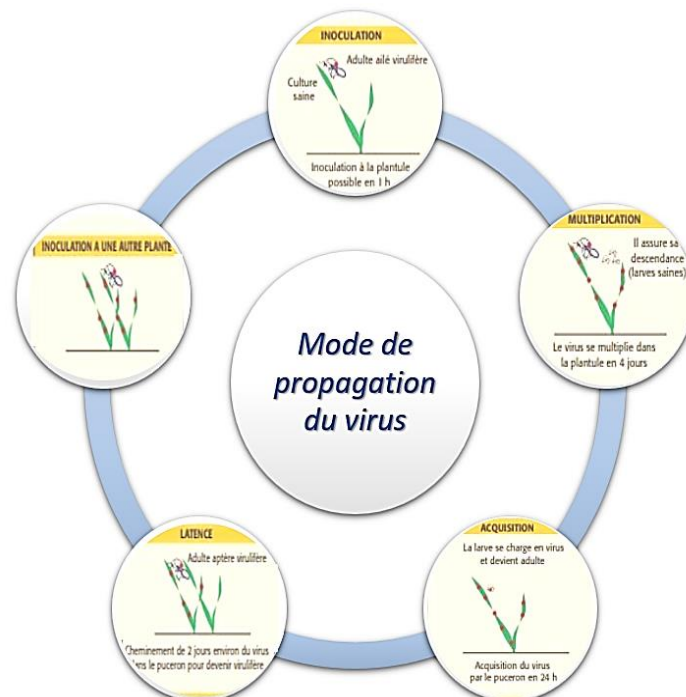


Figure n°171 : Mode de propagation du virus dans une population de pucerons d'après Taupin Pierre (281)

En ce qui concerne le principal vecteur responsable de la jaunisse nanisante de l'orge, c'est le *Rhopalosiphum padi*.



Figure n°172 : Le *Rhopalosiphum padi*
d'après Agrifind (16)

Le *Rhopalosiphum padi* est un petit puceron à forme globuleuse. C'est un ravageur des céréales à deux niveaux : il mange l'orge mais aussi le blé ou le maïs, il est aussi vecteur du virus de la jaunisse nanisante de l'orge. Il est très actif de septembre à novembre si les conditions météorologiques le permettent : pas de vent notamment.

Une date des semis vers la fin octobre / début novembre peut limiter son risque de prolifération, sa période de multiplication est plutôt un peu avant mais ceci dépend des températures, il arrête de se multiplier quand la température passe sous les 10°C environ. Le virus présent dans la plante contamine les larves de pucerons. Il lui faut 4 jours pour se multiplier dans la plante, ensuite une journée pour qu'il infeste le puceron et environ deux jours pour que le puceron soit vecteur (le virus va passer du tube digestif aux glandes salivaires, cf. figure suivante). Le virus n'est pas transmis à la descendance.

Trajet du virus de la jaunisse nanisante de l'orge dans un puceron (d'après Gildow, 1987)

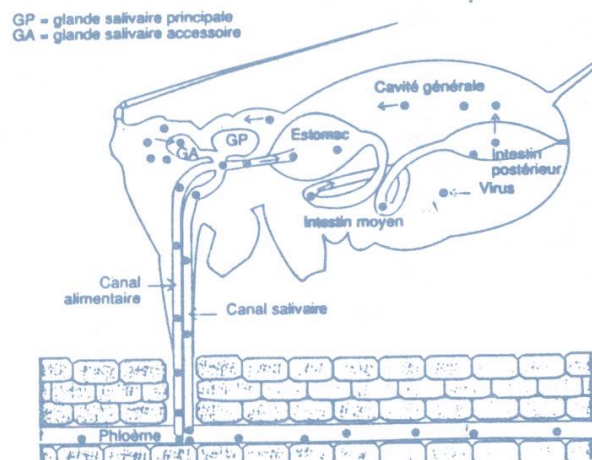


Figure n°173 : Trajet du virus de la jaunisse nanisante de l'orge dans un puceron
d'après l'université de Liège (303)

L'étude de Chesnais *et al.* (71) de 2015 s'est intéressée à *Aphidius matricariae*, guêpe, endoparasite du puceron noir de la fève mais aussi des haricots. Ils ont utilisé deux plantes : la fève (*Vicia faba*) et la cameline (*Camelina sativa*). Les résultats obtenus en laboratoire sont :

- Les femelles d'*A. Matricariae* n'ont montré aucune préférence parmi les deux choix quand les plantes sont non infestées,
- En revanche, si une plante est infestée, elle est privilégiée par rapport à une plante non-infestée,
- Les femelles parasitoïdes ont montré plus d'intérêt pour les pucerons présents sur la cameline,
- Le pourcentage de ponte est supérieur sur les plants de fève.

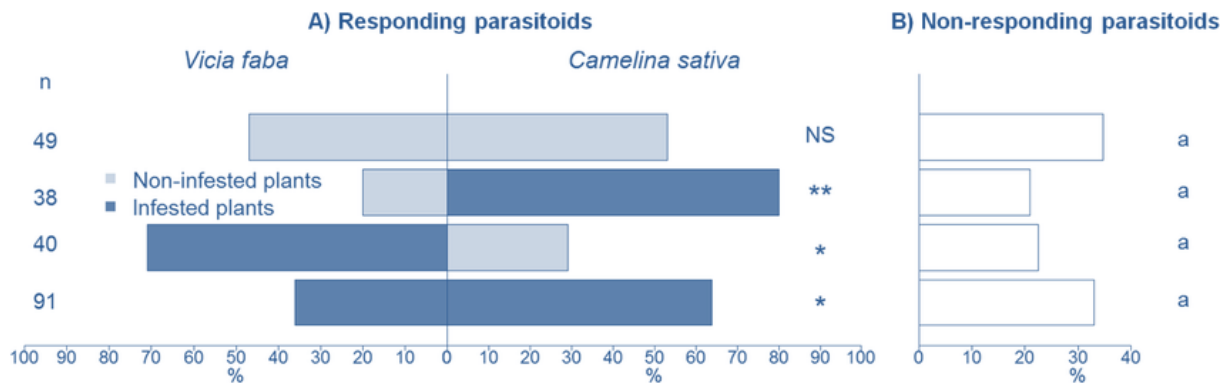


Figure n°174 : Les différentes possibilités de choix pour les guêpes d'après Chesnais et al. (71)

La figure A ci-dessus représente les différentes possibilités présentées aux guêpes femelles de plants infestés et non infestés de cameline et de fève. La figure B correspond aux parasitoïdes non répondeurs. Les astérisques indiquent des différences significatives (* P <0,05; ** P <0,01) dans le choix effectué par les parasitoïdes. Les mêmes lettres indiquent des différences non significatives entre les pourcentages de parasitoïdes non répondeurs.

Les deux plantes sont adaptées puisqu'il y a eu des pontes sur les deux. En revanche, l'acceptation par l'hôte d'*Aphidius matricariae* a été améliorée sur les fèves par rapport à la cameline. Les pucerons étaient en meilleur forme (plus gros) sur les fèves, ceci s'est aussi retrouvé chez les parasitoïdes, d'où un taux de ponte supérieur. Une des hypothèses est la

présence de composés dissuasifs spécifiques à la cameline qui pourraient être nocifs pour les larves parasitoïdes.

Cependant, certaines plantes ont des mécanismes de résistance. Il en existe principalement trois :

- L'antixénose : la couleur ou le goût de la plante vont dissuader les insectes *via* des émissions de composants chimiques
- L'antibiose : impact négatif sur la physiologie de l'insecte *via* la composition de la sève
- La tolérance : la plante « accepte » la présence des insectes tout en se développant normalement

La cameline va émettre des composés chimiques dissuasifs pour une majorité de ravageurs, d'où sa réputation de plante résistante. Ceci est valable uniquement si la densité de pucerons est stable. Lors d'une invasion de pucerons, cette défense n'est pas suffisante et la plante sera attaquée.

Winqvist *et al.* (320) en 2011 souligne dans son étude que le nombre de pucerons a diminué lorsqu'on a une hétérogénéité de paysages puisque le nombre de coccinelles et d'oiseaux a augmenté. Si le nombre de prédateurs augmente, le nombre de pucerons diminue. En revanche, cela ne joue pas sur le fait que les pucerons soient porteurs de virus. En partant de ce constat, une autre idée se développe : la création des bandes fleuries. Les insectes suivent les signaux visuels et olfactifs pour choisir leurs plantes ou au contraire pour les éviter. En connaissant ce que recherche tel ou tel ravageur, il est possible de créer des bandes fleuries qui vont fausser les données reçues par les prédateurs et ainsi protéger la plante.

Les bandes fleuries font partie des IAE (Infrastructures agroécologiques utiles) comme les haies agricoles diversifiées ou les points d'eau. Leur composition est très variée mais pas toujours adaptée (plante exotique, envahissante...).

Dans la même idée, le projet Gargamel a vu le jour en 2013 au sein de l'unité d'agronomie de l'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique). La figure suivante illustre ce projet.

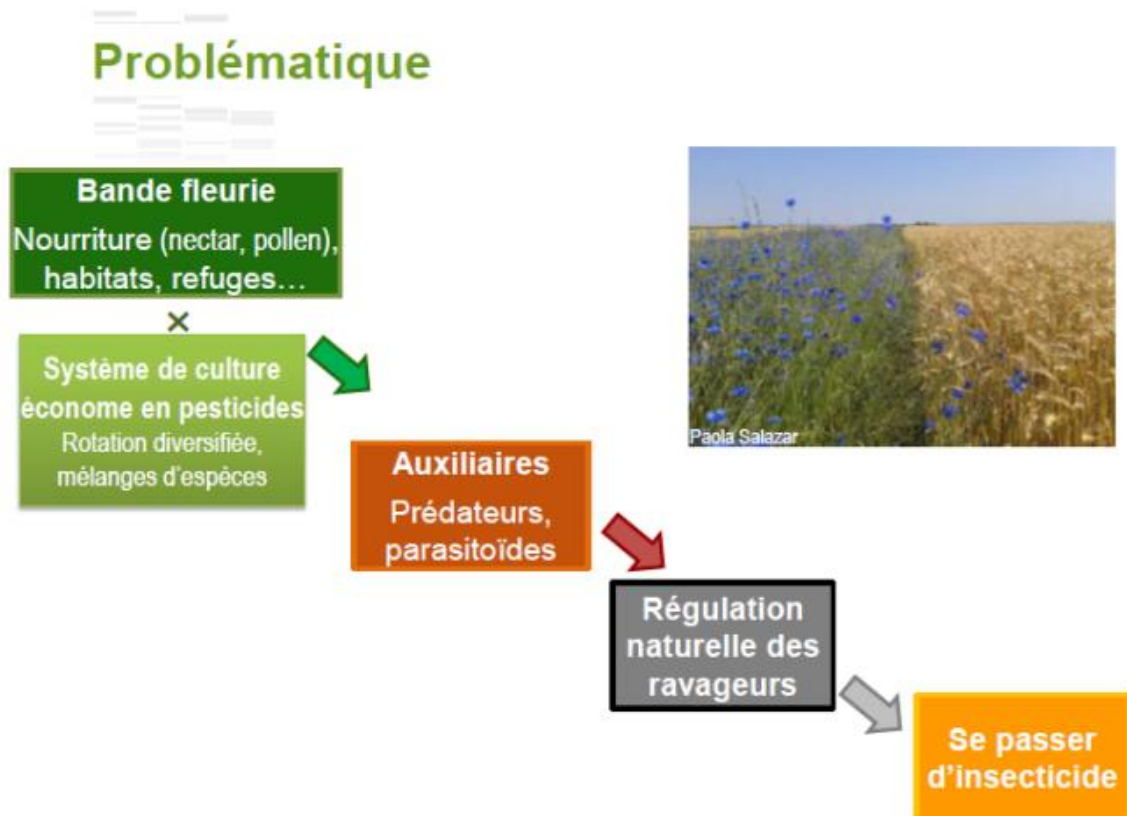


Figure n°175 : Le projet Gargamel d'après Gardarin Antoine (128)

C'est un projet qui se déroule sur plusieurs années. Il vise à améliorer l'association entre les bandes fleuries et un système de culture économe en pesticides. Pour cela, il est nécessaire d'utiliser correctement les bandes fleuries pour favoriser la présence des insectes auxiliaires et ainsi limiter les dégâts induits par les ravageurs dans les cultures. Parmi les auxiliaires prédateurs, il y a les syrphes, les carabes et les parasitoïdes. Certains agriculteurs utilisent déjà des mélanges mais plus dans le but de servir de refuge pour le petit gibier ou pour nourrir des abeilles domestiques. Ce projet va leur permettre d'avoir des informations plus précises sur la bonne constitution des bandes fleuries et donc à plus long terme, limiter l'utilisation des insecticides.

L'expérimentation a eu lieu de 2013 à 2017 sur une superficie de 13 ha. En 2015, les premiers résultats sortent : réduction de 30 à 50 % de criocères (ravageurs des céréales) et une même réduction du nombre de pucerons pour les cultures d'orge et de pois. Cette étude nous montre l'importance des bandes fleuries mais toutes les bandes fleuries ne se valent pas.

L'étude de Brigode Mélanie (59) de 2017 répond en partie à la problématique d'avoir des bandes fleuries attractives. L'idée est de limiter notamment les traitements phytosanitaires en soutenant le développement des ennemis naturels. Plusieurs systèmes de bandes fleuries ont été testées dans la ferme expérimentale *AgricultureIsLife* de Gembloux Agro-Bio Tech dans la province de Namur.

L'étude s'est intéressée à trois types de bande :

- mélange de fleurs
- cameline
- dimorphotéca

Les bandes permettent le développement des prédateurs comme les *Braconidae*, *Coccinellidae*, *Syrphidae* et *Chrysopidae*. La figure suivante nous illustre l'abondance des ennemis naturels (prédateurs et parasitoïdes) présents dans les différentes bandes fleuries.

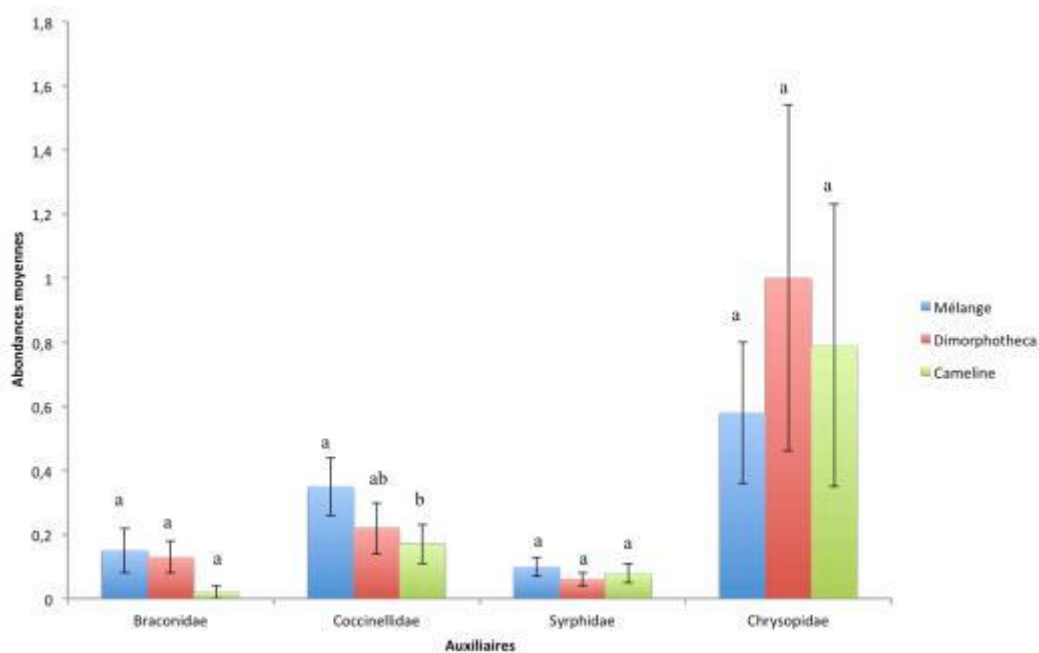


Figure n°176 : Abondance moyenne (\pm écart-type) des ennemis naturels piégés dans les différentes bandes fleuries d'après Brigode Mélanie (59)

Les lettres de la figure ci-dessus nous donne les différences significatives ($p < 0,05$). Au niveau des bandes fleuries, il n'y a pas de différences significatives sauf pour les *Coccinellidae* qui étaient davantage piégées dans les bandes fleuries que dans la cameline. Il

faut savoir qu'une larve de coccinelle durant son développement peut manger jusqu'à 1 000 pucerons.

Les bandes fleuries étaient plantées à côté des champs de froment, la culture test. Le froment a eu une diminution significative du nombre de ravageurs lorsqu'il était à côté de la bande mélange fleuri mais pas lorsqu'elle était à côté de la bande cameline (cf. figure suivante).

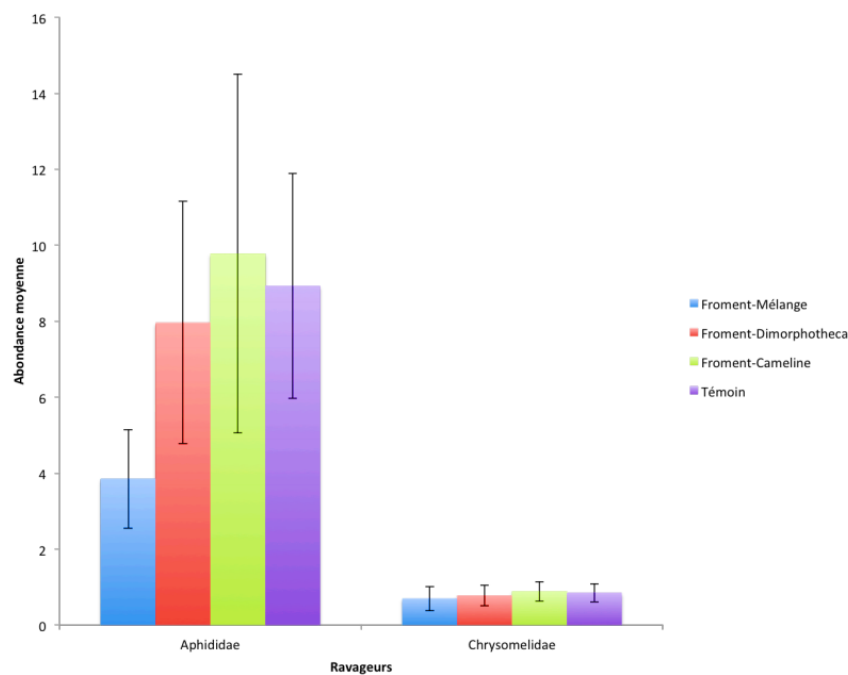


Figure n°177 : Abondance moyenne (\pm écart-type) de ravageurs observés dans le froment adjacent aux bandes fleuries et dans le froment témoin d'après Brigode Mélanie (59)

Pourtant les ravageurs se sont bien développés dans la cameline. Ceci nous montre la complexité de trouver une bande qui répond à l'ensemble des problématiques. L'étude s'est portée sur une seule saison mais ouvre de nouvelles possibilités en tant qu'aide complémentaire pour les agriculteurs. Il est préférable que la bande soit constituée d'une association de plantes plutôt que d'une seule plante.

La limitation voire l'interdiction des produits chimiques contre notamment les pucerons oblige les agriculteurs et les industriels à travailler différemment. Les premiers vont jouer sur la date des semis, les deuxièmes vont développer des variétés résistantes au virus ou aux pucerons (principalement *via* l'antibiose), variétés plus chères à l'achat. Les

variétés résistantes fonctionnent si la densité de pucerons n'est pas trop importante. Par exemple, les melons porteurs du gène Vat sont résistants à *Aphis gossypii*.

D. La graine de cameline

La graine de cameline est très sensible à l'humidité, celle-ci peut l'abîmer. Quand la graine est stockée, le taux d'humidité doit être inférieur à 8 %. Si la graine est récoltée *via* un système de doubles cultures, les graines sont séparées de suite après la récolte.

La figure suivante nous montre les différentes possibilités que nous offrent les graines de cameline.

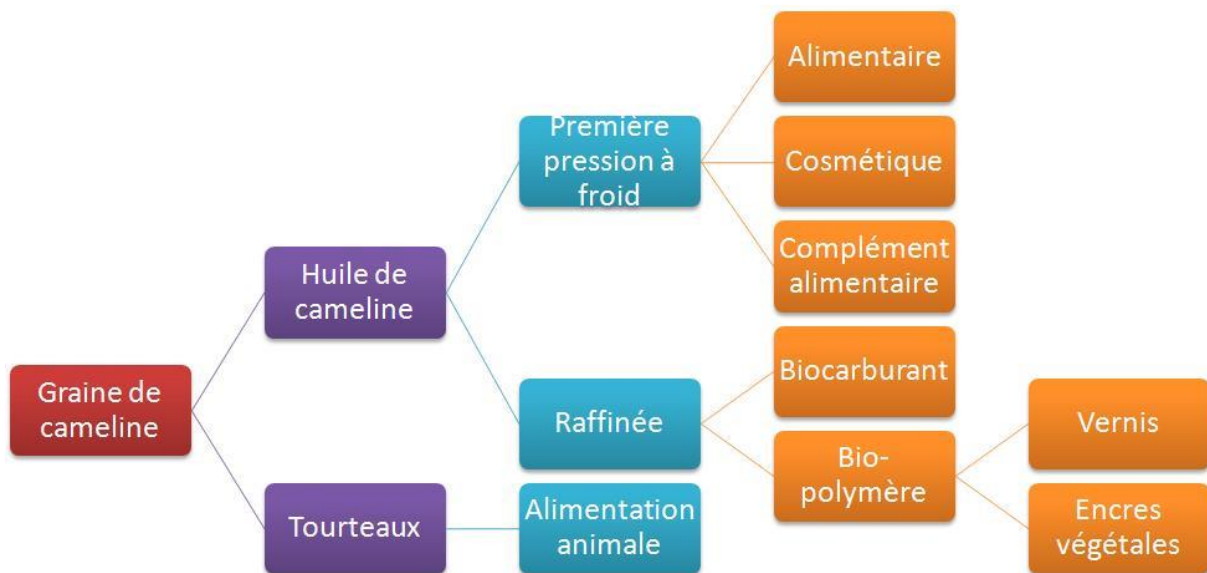


Figure n°178 : Le devenir possible des graines de cameline par LS



Figure n°179 : Les graines de cameline Oliméga (87)

Au Québec, la compagnie Oliméga vend des nouveaux produits dont des graines de cameline, produit disponible sur le marché depuis octobre 2018. Ces graines peuvent être incorporées dans des soupes, des salades, des smoothies ou des yaourts. En février 2019, le produit (les graines de cameline Oliméga) a obtenu un prix lors du Gala Dux dans la catégorie Produits, Ingrédient – PME. Le jury a choisi ce produit car les graines de cameline « représentent une solution de rechange locale aux graines de chia, tout en contenant plus de protéines, moins de glucides et moins de calories que celles-ci ». De plus, dans leur gamme signée cameline, ils ont sorti deux tablettes de chocolat avec de l’huile de cameline (une avec 70% de chocolat noir et l’autre au chocolat au lait).

Zubr (329) en 2010 s’est intéressé au contenu en vitamines hydrosolubles de la série B, des minéraux et des glucides de la graine de cameline. Les résultats sont présentés ci-dessous sous forme de tableaux.

Nom des minéraux	Teneur en minéraux (en pourcentage)
Calcium (Ca)	1 %
Magnésium (Mg)	0,51 %
Sodium (Na)	0,06 %
Potassium (K)	1,6 %
Phosphore (P)	0,04 %
Soufre (S)	0,24 %

Tableau n°52 : Composition en minéraux de la graine de la cameline d’après Zubr (329)

Nom des minéraux	Teneur en minéraux
Cuivre (Cu)	9,9 µg / g
Fer (Fe)	329 µg / g
Manganèse (Mn)	40 µg / g
Nickel (Ni)	1,9 µg / g
Zinc (Zn)	40 µg / g

Tableau n°53 : Composition en minéraux de la graine de la cameline d'après Zubr (329)

Nom du glucide	Teneur en glucides (en pourcentage)
Amidon	1,21 %
Fibre brute	12,8 %
Fructose	0,04 %
Mucilage	6,7 %
Pectine	0,96 %
Raffinose	0,64 %
Stachyose	0,36 %
Sucrose	5,5 %

Tableau n°54 : Composition en glucides de la graine de cameline d'après Zubr (329)

Les figures suivantes illustrent quelques glucides.

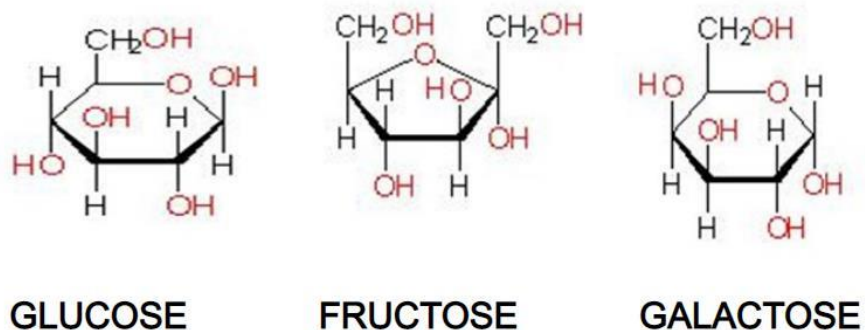


Figure n°180 : Structure de quelques glucides d'après Martin Kellie (206)

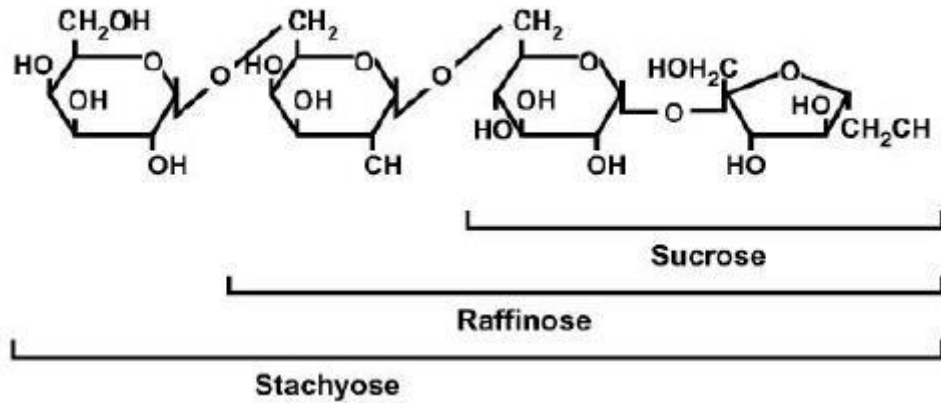


Figure n°181 : Structure de quelques glucides d'après Hitachi High Technologies America Inc (151)

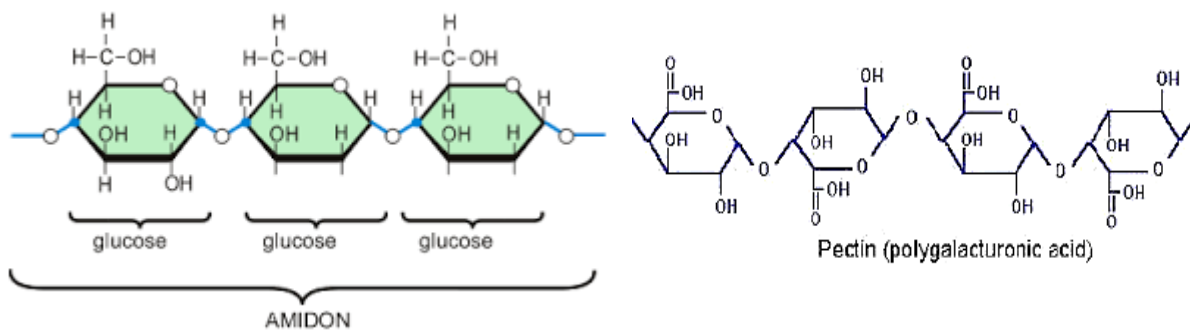


Figure n°182 : Structure de l'amidon d'après l'université de Namur (304)

Figure n°183 : Structure d'une pectine d'après Food info (121)

E. L'huile de cameline

1. Obtention de l'huile

Comme vu précédemment, c'est la graine qui permet d'obtenir l'huile de cameline. La récolte est effectuée à la moissonneuse batteuse laquelle ne nécessite pas de modification particulière. Les graines sont ensuite triées. Elles sont nettoyées puis pressées dans une presse à vis sans fin. La figure suivante nous illustre une extraction à froid de l'huile de cameline.

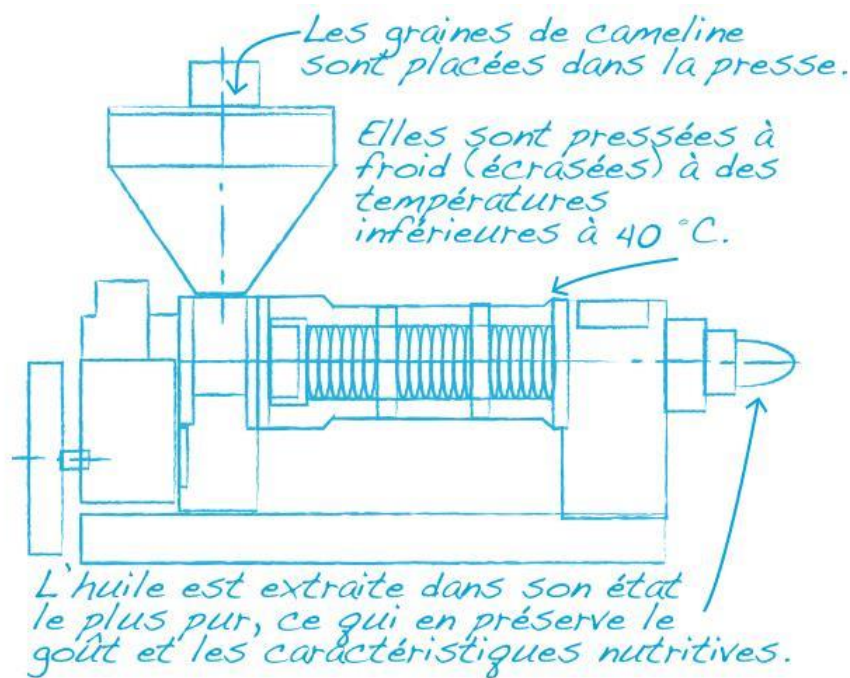


Figure n°184 : Extraction à froid de l'huile de cameline avec une presse à vis d'après Three farmers (295)

L'huile obtenue est filtrée plusieurs fois (à l'aide de papier buvard pour les huiles Vigean® (309) par exemple). La production comporte 3 étapes : pressage, décantation (20 jours) et mise en bouteilles. Il n'y a aucun ajout de conservateur ou de tout autre élément chimique. L'huile ne devra subir aucun traitement chimique, thermique ou raffinage.

Dans l'exploitation artisanale de Yannick Gambier, l'huile de cameline est obtenue après passage des graines dans une presse à vis sans fin (4 kilos de graines de cameline pour faire un litre d'huile avec cette méthode). Le liquide produit va décanter pendant trois à quatre semaines avant la mise en bouteille. L'agriculteur précise : « Nous ne prélevons que l'huile décantée, ce qui entraîne des pertes à hauteur de 10 % » (41).

L'huile de cameline peut aussi être obtenue par d'autres méthodes qui utiliseront le raffinage. L'huile aura alors une moins bonne qualité nutritionnelle.

Une étude de Moslavac *et al.* (218) en 2014 s'est portée sur l'extraction de l'huile de cameline avec un pressage à vis suivi d'une extraction au CO₂ supercritique. Le but est de connaître les effets de la température, de la fréquence et de la taille des buses. Les conditions optimales établies sont :

- une température de 52 °C,

- une fréquence de 20 Hz et
- une buse de 9 mm.

Les graines de *Camelina sativa* ont été utilisées par Henok D *et al.* (148) en 2015 pour tester la méthode d'extraction par le dioxyde de carbone supercritique (SC-CO₂). Le but est aussi de comparer le rendement ainsi que la composition de l'huile avec d'autres méthodes d'extraction (extraction à froid et avec du n-hexane). Le système d'extraction par le dioxyde de carbone supercritique est représenté sur le schéma ci-dessous.

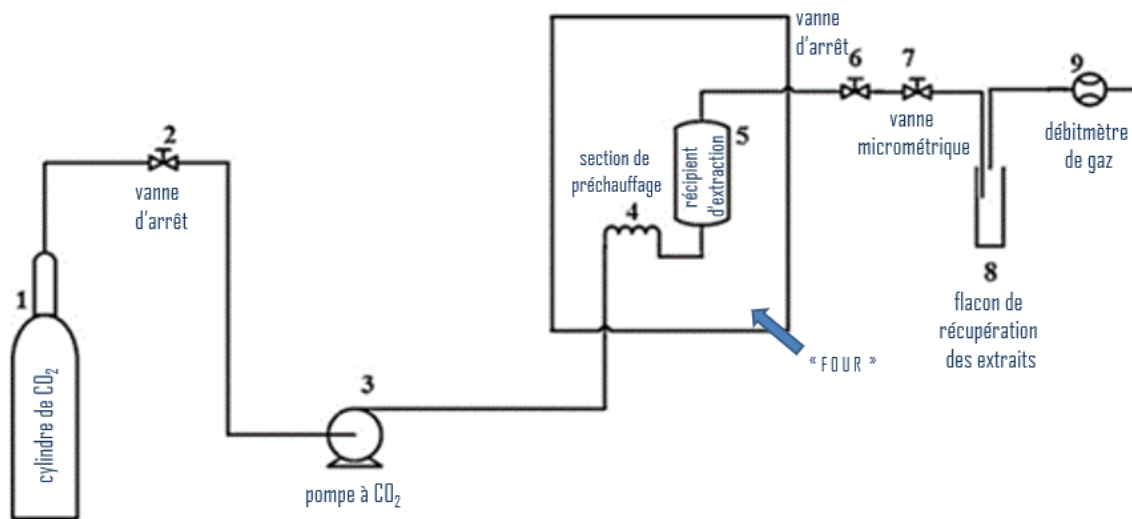


Figure n°185 : Système d'extraction par le dioxyde de carbone supercritique par Henok D *et al.* (148)

L'augmentation de la pression a amélioré le rendement quelles que soient la température et la durée étudiées. Le solvant (ici le gaz CO₂) va avoir une meilleure solubilité et donc l'extraction sera plus efficace. Le rendement augmente avec la durée d'extraction, la pression et une température constante. Les conditions d'extraction optimales pour l'étude sont de 45 MPa en pression, de 70 °C en température, de 250 min en durée. Les taux de rendement en fonction du type d'extraction sont réunis dans le tableau n°55.

Conditions de l'extraction		Taux de rendement en pourcentage
Extraction à l'aide du dioxyde de carbone supercritique	Rendement réel avec les conditions optimales	25,1 ± 2
	Rendement théorique	27
	Extraction avec une durée de 510 minutes	31,6
Extraction à l'hexane d'une durée de 6 heures		35,9
Extraction à froid		29,9

Tableau n°55 : Les rendements obtenus lors de l'étude d'Henok D et al. (148) en fonction de diverses méthodes d'extraction

Le meilleur rendement est obtenu avec de l'hexane et le moins bon avec le CO₂ SC. La composition en AG n'a pas varié significativement d'une méthode à l'autre.

Une étude de Belayneh *et al.* en 2017 (42) avait pour objectif de tester les différentes manières d'extraction de l'huile et l'impact de celle-ci sur la stabilité oxydative de l'huile. Les méthodes d'extractions étudiées sont les suivantes : SC-CO₂, SC-CO₂ modifié à l'éthanol, presse à froid et extraction avec l'hexane. Quelle que soit la méthode utilisée, la composition en acides gras et en tocophérols ne diffèrent pas significativement (les graines utilisées proviennent toutes du même endroit). Le résultat concerne la teneur en composés phénoliques totaux (illustration ci-dessous).

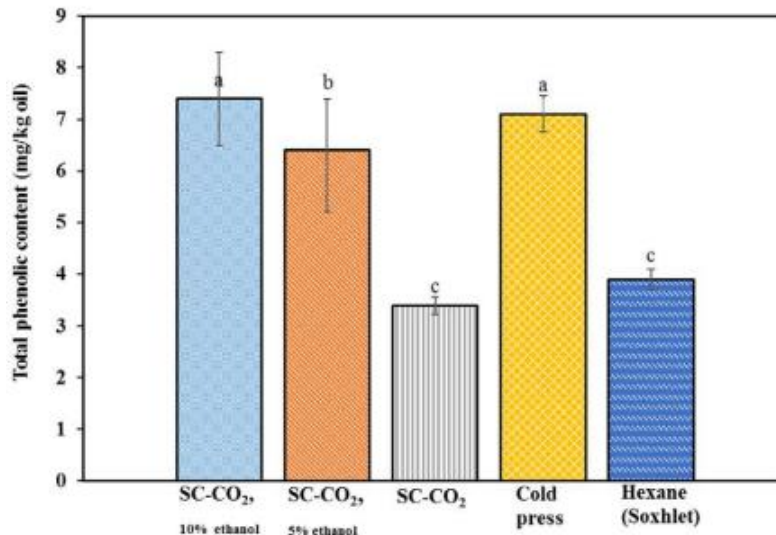


Figure n°186 : La teneur en composés phénoliques totaux en fonction des méthodes d'extraction par Belayneh et al. (42)

Les composés phénoliques ont un rôle important pour éviter l'oxydation d'où l'intérêt de savoir quelle est la méthode qui en conserve le plus. La teneur la plus faible est obtenue avec l'huile extraite avec du SC-CO₂ pur (3,4 mg/kg). En utilisant l'éthanol lors de l'extraction, il y a une augmentation significative des teneurs en phénols (6,4 mg pour 5 % d'éthanol et 7,4 mg/kg pour 10 % d'éthanol). Pour l'huile extraite à froid, elle est de 7,1 mg/kg et pour l'huile extraite avec l'hexane elle est de 3,9 mg/kg.

Les résidus solides obtenus après l'extraction de l'huile constituent des sous-produits : les tourteaux. Ils contiennent encore de l'huile (entre 8 à 10 %), des fibres alimentaires solubles et insolubles ainsi que des protéines. Ils peuvent être utilisés pour l'alimentation animale ou humaine sous forme de farine. La composition des tourteaux d'après Cornevin Charles (86) en 2016 est présentée dans le tableau ci-dessous.

Eau	9,6 %
Huile	9,2 %
Matières azotées	23,3 %
Matières solubles non azotées	41,8 %
Cellulose	9,1 %
Cendres	7 %

Tableau n°56 : Composition chimique du tourteau de cameline d'après Cornevin Charles (86)

2. Composition chimique

La figure suivant nous rappelle la composition générale d'une huile végétale.

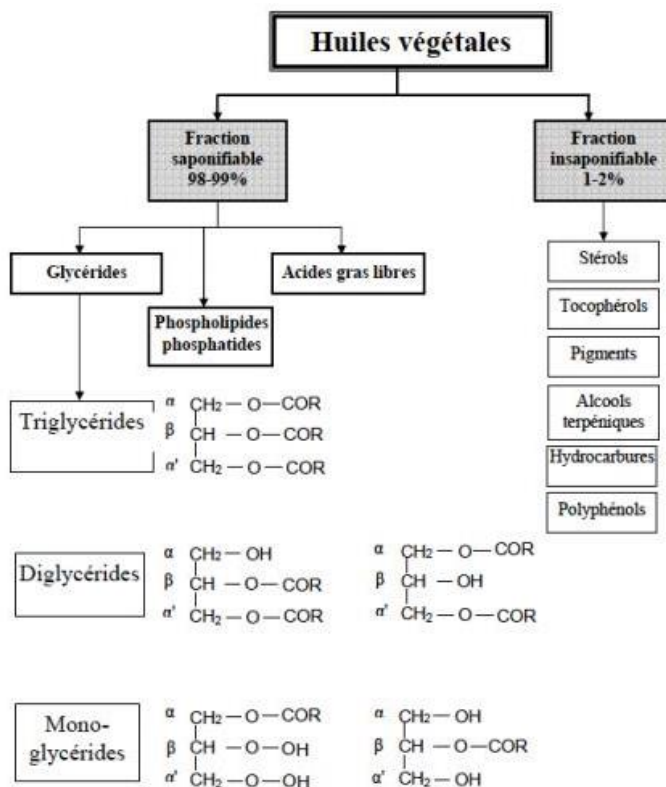


Figure n°187 : La composition d'une huile végétale par Zitoun Terki Seloua (327)

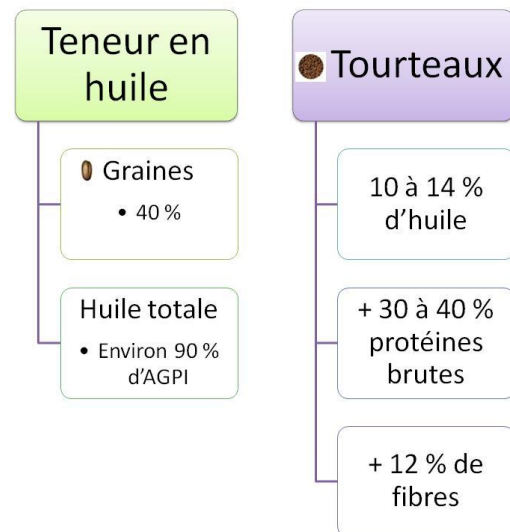
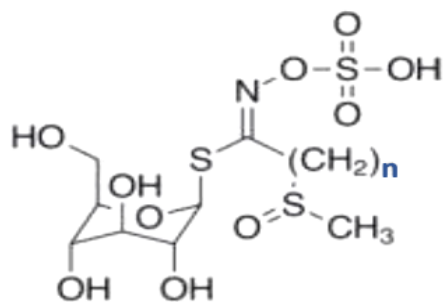


Figure n°188 : Teneur en huile des graines et des tourteaux de cameline par LS

L'huile de cameline a une couleur jaune d'or avec une légère odeur d'asperge ou de chou rave selon les personnes, odeur typique des crucifères liés à la présence des glucosinolates.



- n = 9 :
Glucoarabine (9-methylsulfinylnonyl-glucosinolate)
- n = 10 :
Glucocamelinine (10-methylsulfinyldecylglucosinolate)
- n = 11 :
11-methylsulfinylundecylglucosinolate

Figure n°189 : Structure des glucosinolates présents dans les graines de cameline
d'après M. A. Berhow et al. (197)



Figure n°190 : Couleur de l'huile de cameline (photo LS)

C'est cette couleur jaune d'or qui lui a donné l'un de ses noms anglais « *gold of pleasure* ». D'où vient cette couleur ? Elle est due aux pigments végétaux et en particulier aux caroténoïdes. Parmi les caroténoïdes, il y a la lutéine et la zéaxanthine qui sont responsables de couleur jaune. Ils sont recherchés en cosmétologie puisque ce sont des antioxydants naturels.

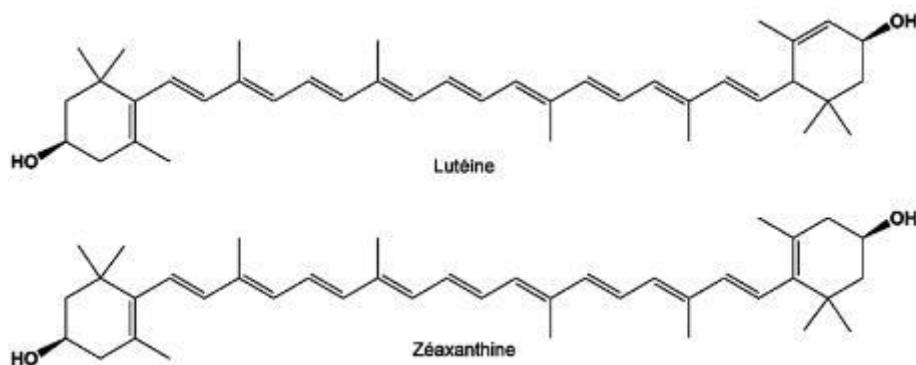


Figure n°191 : Structure chimique de la lutéine et de la zéaxanthine
d'après la société chimique de France (188)

Au niveau de sa composition, l'huile de cameline ressemble à celle de l'huile de lin. Elle est très riche en AGPI ω 3 (environ 40 % d'acide α -linoléique) et en antioxydant. Elle possède un ratio ω 6/ ω 3 très intéressant (ratio = 0,5) et c'est une source de vitamine E (propriétés antioxydantes). Elle contient aussi des phytostérols.

L'Union Européenne a eu le projet « *Alternative oil-seed crop Camelina Sativa* » qui a duré de 1995 à 1998 et qui concernait six pays (Allemagne, Danemark, Finlande, Irlande, Royaume-Uni et Suède). Durant ce projet, aucun herbicide et pesticide n'a été répandu. La teneur en huile des différentes graines a été évaluée à partir des graines provenant de deux cultures de cameline : celle d'été et celle d'hiver. La valeur moyenne en huile était de 41,8 % pour les graines d'hiver et de 42,2 % pour les graines d'été. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Période de culture	% DE TENEUR EN HUILE						
	Est du Danemark	Ouest du Danemark	Mülheim	Paderborn	Uppsala	Carlow	Moyenne
Hiver	43,1	42,3	46,1	38,9	37,2	43,1	41,8
Printemps	42,0	41,5	42,0	40,8	44,1	42,7	42,2

Légende : teneur en huile la plus basse - teneur en huile la plus haute

Tableau n°57 : La teneur en huile de cameline en pourcentage (variété hiver et printemps) dans divers endroits d'Europe d'après Zubr Josef (328)

Paderborn et Mülheim sont des villes allemandes, Uppsala est suédoise et Carlow irlandaise. La teneur la plus importante en huile dans les graines d'hiver a été trouvée dans le sud de l'Allemagne avec 46,1% et la plus faible est celle des graines d'hiver d'Uppsala (37,2 %) alors que c'est cette même ville qui possède la teneur la plus élevée pour la culture d'été (44,1 %). La plus faible teneur pour la culture d'été est à Paderborn (nord de l'Allemagne) avec une teneur de 40,8 %. Il est important de souligner que la culture d'été permet d'obtenir des graines avec une meilleure teneur en huile (42,2 % *versus* 41,8 %).

Le tableau ci-dessous représente l'analyse nutritionnelle moyenne pour 100 mL d'huile de cameline.

Energie	3700 kJ / 900 kcal
Lipides	100 g
Dont AGS	11,2 g
Dont AGMI	30,6 g
Dont AGPI	58,2 g
Glucides dont sucres	0 g
Fibres alimentaires	0 g
Protéines	0 g
Sel	0 g
Vitamine E	7 mg

Tableau n°58 : Analyse nutritionnelle pour 100 g d'huile de cameline de chez Vigean (310)

a) Les acides gras, AG

La composition en AG des différentes huiles de l'étude Zubr Josef (328) de 2009 est résumée dans le tableau ci-dessous :

FA	Origin >	DK East	DK West	DE Mul	DE Pad	SE Ups	IR Car	Means
16:0	W	5.2	5.4	5.3	5.6	5.6	5.4	5.4 ± 0.07
16:0	S	5.4	5.3	5.4	5.6	5.1	5.5	5.4 ± 0.07
18:0	W	2.2	2.2	2.1	2.2	2.5	2.4	2.3 ± 0.07
18:0	S	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.7	2.6 ± 0.02
18:1n-9	W	11.9	11.7	13.3	11.3	10.2	11.7	11.7 ± 0.41
18:1n-9	S	13.1	12.6	16.7	13.4	13.8	14.1	14.0 ± 0.59
18:2n-6	W	12.1	12.3	12.5	12.6	12.1	12.5	12.4 ± 0.09
18:2n-6	S	14.6	14.5	17.3	15.5	14.7	15.0	15.3 ± 0.43
18:3n-3	W	41.4	40.9	40.2	40.5	40.7	40.7	40.8 ± 0.16
18:3n-3	S	38.0	38.0	32.7	37.2	37.2	37.8	36.8 ± 0.84
20:1n-9	W	15.8	15.8	15.4	15.3	16.0	15.7	15.7 ± 0.11
20:1n-9	S	15.7	16.1	15.0	14.7	15.7	14.9	15.4 ± 0.23
22:1n-9	W	2.9	2.9	2.9	3.3	3.7	2.9	3.1 ± 0.14
22:1n-9	S	2.8	3.0	2.9	2.8	2.9	2.3	2.8 ± 0.10

Symbols: DE Mul = Müllheim, DE Pad = Paderborn, SE Ups = Uppsala, IR Car = Carlow, W = winter varieties, S = Summer varieties.

Legend: FA - 16:0 = palmitic, 18:0 = stearic, 18:1n-9 = oleic, 18:2n-6 = linoleic, 18:3n-3 = α -linolenic, 20:1n-9 = gondoic, 22:1n-9 = erucic. The content of the minor FA (0.1-1.6 %) 14:0, 16:1, 18:1n-7, 18:3 tr., 20:0, 20:2, 20:3, 22:0, 22:2, 24:0, 24:1, was omitted, n = 18.

Tableau n°59 : Composition des huiles de cameline de l'étude de Zubr Josef (328)

En ce qui concerne les deux principaux AG, la teneur de LA (18 :2n-6) va de 12,1 (pour la variété hiver de l'Est du Danemark et la variété hiver de Suède) à 17,3 (variété été de Mullheim). Concernant l'ALA (18 :3n-3), la teneur va de 32,7 (variété été de Mullheim) à 41,4 (variété hiver de l'Est du Danemark). L'huile de cameline d'hiver est plus riche en ALA (40,3 vs 33,7 %). En revanche, l'huile de cameline d'été est plus riche en acide linoléique (16,3 vs 12,9 %) selon les travaux de Zubr (328).

Une autre étude de Zubr, avec Matthäus (330) en 2002 s'est intéressée aux variations des principaux AG et de la teneur en tocophérols. Plusieurs sites ont été choisis pour représenter trois zones : l'Europe centrale, l'Europe du Nord et la Scandinavie qui ont des climats différents (climat continental en Allemagne, climat océanique en Suède, climat tempéré sur le site de Taastrup au Danemark...). Certains sites sont communs comme le site d'Uppsala en Suède ce qui est logique puisque J. Zubr a participé aux deux projets, mais les objectifs étaient différents. Le tableau représente les différentes compositions en AG de l'huile.

Content of fatty acids in camelina oil (% of total FA)

Origin >FA	SITES Copenhagen	RVAU	BOR Borris	MUL Mülheim	PAD Paderborn	SWE Uppsala	Mean	LSD
14:0		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	(- Différence la moins significative)
16:0		5.4	5.3	5.6	5.6	5.3	5.4	
16:1		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
18:0		2.6	2.3	2.7	2.7	2.6	2.5	
18:1		14.8 b	14.2 b	14.0 b	14.4 b	16.9 a	14.9	1.18
18:2		15.7 ab	13.5 c	15.3 b	15.2 b	16.5 a	15.2	1.19
18:3		36.3 b	39.7a	36.4 b	36.8 b	34.9 b	36.8	1.89
18:3		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
20:0		1.4	1.2	1.4	1.5	1.3	1.3	
20:1		15.7 a	15.6 a	15.8 a	15.3 a	15.1 a	15.5	1.10
20:2		1.9	2.0	2.0	1.9	1.7	1.9	
20:3		1.5	2.1	1.7	1.6	1.3	1.6	
22:0		0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	
22:1		2.9 a	2.6 a	3.0 a	3.0 a	2.6 a	2.8	0.50
22:2		0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	
24:0		0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	
24:1		0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
C:X		0.2	0.2	0.5	0.5	0.4	0.4	

(= Composés non identifiés)

(a, b, c = lettres correspondant à une même moyenne)

Tableau n°60 : La composition en acides gras des diverses huiles de cameline testées d'après Zubr et Matthäus (330)

Légende : C :X pour les composés non identifiés et LSD correspond à la différence la moins significative et les mêmes lettres sont pour la même moyenne.

Au niveau des principaux acides gras : 13,5 %, pourcentage le plus faible en acide linoléique (18 :2n-6) à Borris et le plus haut à 16,5 % à Uppsala. Pour l'acide α -linoléique (18 :3n-3), c'est l'inverse : la teneur la plus importante est trouvée au Danemark et la plus faible en Suède. Les différences observées dans les teneurs ne sont pas significatives.

Le tableau suivant donne la composition en acides gras.

Composition en acides gras de l'huile de cameline	Quantité en %
Acide palmitique C16 : 0	5,3 +/- 0,1
Acide stéarique C18 : 0	3,0 +/- 0,1
Acide oléique (ω -9) C18 : 1	18,7 +/- 0,1
Acide linoléique (ω -6) C18 : 2	16,0 +/- 0,1
Acide α -linoléique (ω -3) C18 : 3	38,1 +/- 0,1
Acide arachidonique C20 : 0	1,4 +/- 0,1
Acide éicosénoïque C20 : 1 (plus précisément ici l'acide gadoléique)	11,6 +/- 0,1
Acide érucique C22 : 1	2,5 +/- 0,1
Autres acides gras	3,4 +/- 0,1

Tableau n°61 : Composition en acides gras saturés et insaturés de l'huile de cameline d'après Shukla V.K.S et al. (268)

L'acide éicosénoïque (C20 :1) est un AGMI qui existe sous trois formes différentes :

- un AG ω 9 : acide 9-éicosénoïque (acide gadoléique)
- un AG ω 11 : acide 11-éicosénoïque (acide gondoïque)
- un AG ω 13 : acide 13-éicosénoïque (acide paullinique)

L'acide gadoléique est peu présent dans le domaine végétal, c'est une particularité de l'huile de cameline. Son rôle et son intérêt sont encore peu connus.

Le tableau ci-dessous compare plusieurs compositions d'huile de cameline au niveau des AG.

Fatty acid	Slovénie	Content of fatty acid / %		
	This study*	Budin <i>et al.</i> (2)	Eidhin <i>et al.</i> (3)	Zubr <i>et al.</i> (8)
palmitic acid (16:0)	6.43 ± 0.01	5.7 – 8.4	5.5	5.3 – 5.6
stearic acid (18:0)	2.57 ± 0.01	1.4 – 3.5	2.3	2.3 – 2.7
oleic acid (18:1)	17.40 ± 0.30	14.2 – 19.4	14.9	14.0 – 16.9
linoleic acid (18:2)	16.90 ± 0.10	19.0 – 24.0	15.8	13.5 – 16.5
α-linolenic acid (18:3)	35.20 ± 0.40	27.1 – 34.7	38.9	34.9 – 39.7
arachidic acid (20:0)	1.24 ± 0.05	**	0.4	1.2 – 1.5
gondoic acid (20:1)	14.90 ± 0.20	12.3 – 14.7	16.2	15.1 – 15.8
eicosadienoic acid (20:2)	2.12 ± 0.02	**	2.1	1.7 – 2.0
eicosatrienoic acid (20:3)	1.61 ± 0.03	**	1.3	1.3 – 1.7
erucic acid (22:1)	1.62 ± 0.03	0.0 – 4.0	2.4	2.6 – 3.0

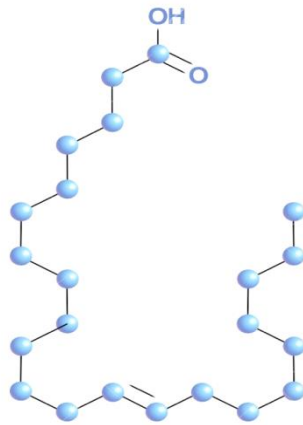
* average of three replicates ± standard deviation
 ** all others: 2.0 – 8.1 %

Légende: Provenance de l'huile de cameline

*Tableau n°62 : Différentes compositions de l'huile de cameline en Slovénie
 d'après Abramovic Helena et Abram Veronika (6)*

L'huile de cameline originaire des Etats-Unis a une teneur plus faible en acide α-linolénique et en acide gadoléique, en revanche, elle est plus riche en acide linoléique.

La quantité d'acide érucique (22 :1 n-9), AG très présent dans la famille des Brassicacées et principalement dans le colza, varie entre 1,62 % et 4 %, pourcentage relativement élevée. Le décret n°2008-184 du 26 février 2008 (191) qui porte sur l'application du code de la consommation en ce qui concerne les graisses et huiles comestibles, nous indique dans l'article 8 que « La teneur en acide érucique des huiles, des graisses et de leurs mélanges, destinés en l'état à la consommation humaine, est calculée sur la teneur totale de ces produits en acides gras dans la phase grasse. Elle ne doit pas dépasser 5 % ».



Erucic acid

Figure n°192 : L'acide érucique ou
acide 13-docosénoïque
d'après Yedikardachian.C (322)

Dans l'Union européenne, la teneur en acide érucique des huiles et graisses destinées à la consommation humaine ne peut dépasser 20 g/kg, et maximum 35 g/kg dans la moutarde. Cette réglementation est en vigueur depuis le 19 novembre 2019 (Rectificatif au règlement (UE) 2019/1870 de la Commission du 7 novembre 2019 modifiant et corrigeant le règlement (CE) n° 1881/2006) (322).

L'acide érucique est qualifié de « toxine endogène des plantes » par cette commission. En 1992, Kramer J.K.G *et al.* (180) se sont intéressés au rôle de cet acide chez des rats et l'impact qu'il avait sur le tissu cardiaque. Pour cela, les rats ont suivi différents régimes : 2,5 ou 9 % d'acide érucique dans les repas avec comme témoin de l'huile de maïs et de l'huile de colza à haute teneur en acide érucique. Plus la teneur de l'huile en acide érucique est importante, plus l'intensité de la lipidose myocardique induite par ce dernier est importante (augmentation significative). L'ensemble des études réalisées ont permis à la Commission européenne de statuer sur une teneur maximale.

Le second tableau issu des travaux de Waraich Ejaz Ahmad *et al.* (316) de 2013 compare lui aussi la composition en acides gras de l'huile de cameline utilisée dans diverses études et endroits du monde.

Oil content and fatty acid composition (%) of seeds of *Camelina sativa*. Fatty acid carbon chain and number of double bonds in the chain are: palmitic (16:0), stearic (18:0), oleic (18:1), linoleic (18:2), linolenic (18:3), eicosenoic (20:1), behenic (22:0) and erucic (22:1) acid.

Location	Oil%	Palmitic acid	Stearic acid	Oleic acid	Linoleic acid	linolenic acid	Eicosenoic acid	Erucic acid	Other	References
Canada	38-43	5.3-8	-	13-17	15-19.2	34-40	13-16	2.4-4	13-15	Gugal and Falk,(2006)
Canada	35-40	-	1.4-3	13-16	15.4-21	31-37.2	14-16	3-4.4	11-17	Urbaniak et al. (2008a; b)
USA	30-38	-	-	14-20	19-24	27-35	12-15	0-4	-	Budin et al. (1995)
Germany	37-41	6.5	2.3	16.2	18.1	39	13.2	2.6	-	Zubr and Matthäus, (2002)
Europe	-	-	-	15	15.2	37	16	03	-	Marquard, (1986)
Salovania	33	6	03	16.27	18.7	33	16	03	0.5	Rode, (2002)
Romania	-	6.51	2.5	-	21	35.58	-	-	-	Imbrea, (2011)

Tableau n°63 : Les compositions en acides gras de l'huile de cameline varient en fonction des études d'après Waraich Ejaz Ahmad et al. (316)

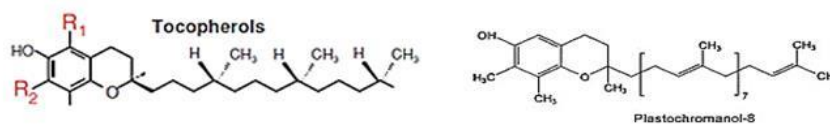
La composition des deux huiles canadiennes est voisine, ce qui paraît logique puisque la plante a bénéficié du même type de climat. L'huile des USA est toujours l'huile la plus riche en acide linoléique. Les différentes compositions sont très intéressantes puisqu'en fonction de l'utilisation de l'huile (cuisine, biodiesel, cosmétique...), des teneurs plus ou moins élevées en tel ou tel composé seront recherchées. Des graines à haute teneur en acides gras hydroxylés seront sélectionnées en vue de la fabrication de lubrifiants tandis que celles à teneur élevée en acide α -linoléique seront préférées pour un usage alimentaire.

b) Les tocophérols

D'après Fontanel Didier (120), il y a 0,5 g/100 g de matières insaponifiables dans l'huile de cameline. Toutes les huiles ne sont pas jaunes, certaines huiles le deviennent lors des étapes de raffinage.

L'huile de cameline turque est riche en tocophérols soit 2,29 à 5,82 mg/100 g pour le δ -tocophérol d'après Pelin Günç Ergönül et Zeynep Aksoylu Ozbek (236) de 2018.

Le second tableau de l'étude de Zubr, avec Matthäus (330) de 2002 nous résume la composition en tocophérols des différentes huiles de cameline.



Origin	$R_1 = \text{CH}_3$ $R_2 = \text{CH}_3$ α -T	$R_1 = \text{H}$ $R_2 = \text{CH}_3$ γ -T	$R_1 = \text{H}$ $R_2 = \text{H}$ δ -T	P-8	Total
RVAU	33.4 a	758 ab	22.9 ab	14.8 b	829 ab
BOR	15.2 b	679 b	17.0 b	11.3 b	723 b
MUL	34.5 a	824 a	24.1 a	14.5 b	897 a
PAD	31.3 ab	751 ab	20.7 ab	25.2 a	829 ab
SWE	25.9 ab	700 b	17.6 ab	9.0 b	753 b
Mean	28.1	742	20.4	14.9	806
Minimum	14.1	651	14.9	8.1	695
Maximum	46.4	922	30.0	33.6	994
LSD	18.2	104	6.5	7.4	111

Légende : a et b : les moyennes ne sont pas significativement différentes

Tableau n°64 : Teneur en tocophérols de différentes huiles de cameline d'après Zubr et Matthäus (330)

Les différences significatives sont :

- au niveau des δ -tocophérols : entre la valeur la plus faible (17 ppm pour le site de BOR) et la plus haute (24,1 ppm pour le site de MUL).
- au niveau de la valeur de P-8 (plastochromanol-8) entre la plus faible et la plus forte (9 ppm en Suède *versus* 25,2 ppm en Allemagne). Le P-8 est un antioxydant qui fait parti du groupe des tocochromanols avec les tocophérols et les tocotriénols.
- et au niveau de la valeur totale en tocophérol : 753 ppm pour le site de SWE et 897 pour le site de MUL.

Marquard et Kuhlmann en 1986 (205) ont établi une valeur totale de 568 ppm dans de l'huile de cameline provenant de graine plantée au printemps. Une teneur de 737 ppm a été observée dans une huile de cameline provenant de cultures ayant eu un apport élevé en azote.

La deuxième partie de l'article de Zubr Josef (328) s'est intéressée à la teneur en tocophérols de plusieurs huiles issues du projet européen « *Alternative oil-seed crop Camelina Sativa* » sauf pour l'huile de colza danoise (tableau ci-dessous).

Variété de l'huile	α	γ	δ	P-8	Total
Cameline hiver	23,5 +/- 4,07	935 +/- 72	25,0 +/- 1,34	24,3 +/- 4,46	1 008
Cameline été	28,1 +/- 6,15	742 +/- 39	20,5 +/- 2,33	14,9 +/- 3,70	806
Colza (danoise)	217	407	8	73	705
Colza	237	391	15	82	725
Lin	121	510	33	137	801

Tableau n°65 : Teneur en tocophérols de l'étude d'après Zubr (328)

Il y a une différence importante entre la teneur moyenne des variétés d'hiver (1 008 mg/g d'huile) et la valeur moyenne des variétés d'été (806 mg/g d'huile). Les huiles obtenues à partir des cultures d'hiver sont plus riches en tocophérols mais les graines ont une plus faible teneur en huile. La teneur en tocophérols a été comparée à d'autres huiles (colza et lin). Quelle que soit la variété choisie, l'huile de cameline en contient plus. En revanche, la proportion des différents tocophérols diffère entre les huiles. L'huile de lin et de colza contiennent beaucoup plus d' α -tocophérols que l'huile de cameline. En Amérique, le profil est légèrement différent : le contenu est plus riche en α -tocophérol, en β -tocophérols mais une quantité plus faible de δ -tocophérols.

D'après l'étude de Schwartz Heidi *et al.* (264) de 2008, l'huile la plus riche en γ -tocophérol parmi celles testées est l'huile de cameline avec 72 mg/100 g suivi de la graine de lin (52 mg/ 100 g) et l'huile de colza biologiques (51 mg/100 g). Les tocophérols font partie du « groupe » de la vitamine E. Ce sont des antioxydants liposolubles. L'huile de cameline contient : 3,8 mg/100 g d' α -tocophérol, 0,09 mg/100 g de β -tocophérol et 1,5 mg/100 g de δ -tocophérols. Pour résumer, on parle d' α -tocophérols équivalents ou sur l'étiquetage de vitamine E à 11 mg /100 g.

c) Les phytostérols

L'huile de cameline contient des stérols végétaux, une étude de Shukla V.K.S *et al.* (268) de 2002 s'est intéressée à sa composition. En règle générale, les huiles végétales ont des quantités importantes de stérols et notamment de campestérol et stigmastérol de 0,2 à 2 % de leurs poids. L'huile étudiée avait environ 0,54 % de son poids qui correspondait à des insaponifiables.



Figure n°193 : Composition des 0.54 % d'insaponifiables dans l'huile par LS

Les six desméthylstérols ont pu être identifiés à l'aide du chromatogramme à ions. La concentration la plus élevée concerne le sitostérol avec 1 884 +/- 144 µg / g d'huile et la plus faible concentration est pour le stigmastérol avec 103 +/- 18 µg / g d'huile.

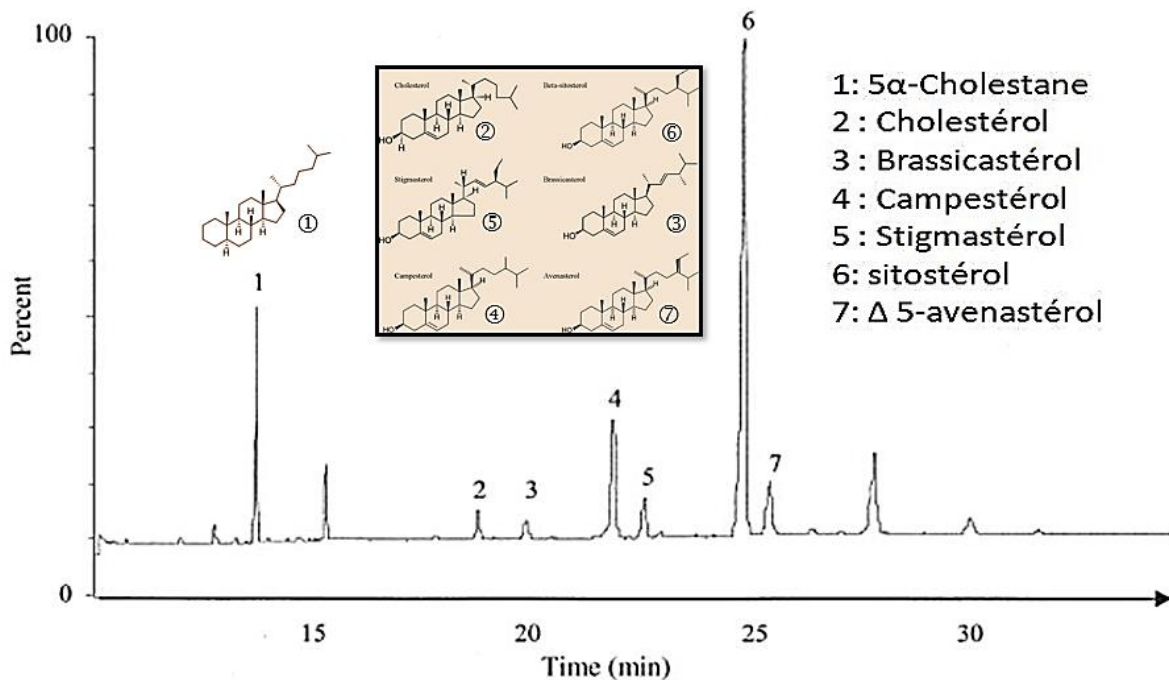


Figure n°194 : Le chromatogramme à ions pour identifier les stérols d'après Shukla V.K.S et al. (268)

Sur le chromatogramme, les six stérols et le 5 α -cholestane (étalon interne) sont identifiés. La hauteur du pic est proportionnelle à la concentration. Les différentes teneurs des stérols retrouvées dans l'huile de cameline sont réunies dans le tableau suivant.

Nom des stérols	Teneur en ppm
Δ 5-avénastérol	393
Brassicastérol	133
Campestérol	893
Cholestérol	188
Sitostérol	1 884
Stigmastérol	103

Tableau n°66 : La teneur en phytostérol de l'huile de cameline d'après Shukla V.K.S et al. (268)

La composition retrouvée des stérols est assez classique sauf pour deux d'entre eux : le brassicastérol et le cholestérol sont peu présents en général dans les huiles végétales. La présence de cholestérol est une particularité de l'huile de cameline et de quelques autres huiles comme l'huile de pépins de tomate ou de palme. Le tableau suivant illustre la composition en stérols et notamment en cholestérol des principales huiles.

Tableau 1 – Composition en stérols (en % sauf précision contraire) des principales huiles végétales

Huiles	Cholestérol	Brassicastérol	Campesterol	Stigmasta 8-22 dién 3-ol	Stigmastérol	$\Delta 7$ -Campesterol	β -Sitostérol	Spinastérol	Schottenol	$\Delta 5$ -Avenastérol	$\Delta 7$ -Stigmastérol	$\Delta 7$ -Avenastérol	Stérol totaux (mg/100 g)	Erythrodial +Uvaol
Amande [4]	< 0,05	< 0,05	2 à 4		1 à 2		80			10 à 12	1 à 2	1 à 2	266	
Argan [5]			< 0,4	3,2 à 5,7				34,0 à 44,0	44 à 49			4,0 à 7,0		
Arachide [4]	0 à 3,8	0 à 0,2	12,0 à 19,8		18,2 à 20,0		55,0 à 70,0			0 à 1,0	0 à 0,3	0 à 0,3	100	
Colza [3]	0,3	11,3	35,3		0,3		47,1			5,3	0,4	0	400 à 500	
Colza [2]	< 4	17 à 13	28 à 40		< 1		45 à 61			1 à 3	1 à 3	1 à 3	540 à 880	
Colza [4]	< 1,3	5,0 à 13,0	24,7 à 38,6		0,2 à 1,0		45,1 à 57,9			2,5 à 6,6	< 1,3	< 0,8	450 à 1 130	
Noisette [3]	< 1	< 0,5	4,5 à 7		0,5 à 1,5		82 à 88			2,5 à 4,5	1,0 à 2,5	0,5 à 6,0	80 à 190	
Noisette [2]	< 1	< 0,5	4 à 7		< 2		82 à 88			2 à 5	1 à 3	1 à 6	120 à 400	
Lin [4]	1 à 2	0 à 1	28 à 29		9 à 10		44 à 53			10 à 13	1 à 4	< 1	200 à 410	
Olive [4]	≤ 0,5	≤ 0,1	≤ 4,0		< campé		≥ 93,0 (app.)				≤ 0,5		> 100	≤ 4,5
Palme [4]	2,6 à 6,7	–	18,7 à 27,5		8,5 à 13,9		50,2 à 62,1			0 à 2,8	0,2 à 2,4	0 à 5,1	27 à 80	
Palmiste [4]	0,6 à 3,7	0 à 0,8	8,4 à 12,7		12,0 à 16,6		62,6 à 73,1			1,4 à 9,0	0 à 2,1	0 à 1,4	70 à 140	
Pépin de raisin [4]	< 0,5	< 0,2	7,5 à 14,0		7,5 à 12,0		64,0 à 70,0			1,0 à 3,5	0,5 à 3,5	0,5 à 1,5	200 à 700	
Pépin de raisin [2]	< 0,5		11,0 à 15,0		8,0 à 12,0		66,0 à 73,0			2,0 à 4,0	< 3,0	1,0 à 3,0	259 à 418	> 2,0
Pépin de raisin [3]	< 0,3	0	10,7 à 14,6		7,7 à 10,5	< 0,2	65,8 à 73,2			1,7 à 4,1	0,6 à 2,4	1,2 à 2,8	280 à 410	3 à 4
Soja [3]	0 à 1,0	0	19,3 à 23,4		16,9 à 19,3	0 à 0,5	46,8 à 56,4				1,5 à 2,5		250 à 410	
Soja [4]	0,2 à 1,4	< 0,3	15,8 à 24,2		14,9 à 19,1		47,0 à 60,0			1,5 à 3,7	1,4 à 5,2	1,0 à 4,6	180 à 450	
Tournesol [4]	< 0,7	< 0,2	6,5 à 13,0		6,0 à 13,0	0,5 à 1,1 [3]	50 à 70			0 à 6,9	6,5 à 24,0	3,0 à 7,5	240 à 500	
Tournesol oléique [4]	< 0,5	< 0,3	5,0 à 13,0		4,5 à 13,0	Présence	42,0 à 70,0			1,5 à 6,9	6,5 à 24,0	0 à 9,0	170 à 520	

app : apparent

*Tableau n°67 : Composition en stérols en pourcentage des principales huiles végétales
d'après Ollivier et al. (229)*

La présence de cholestérol dans l'huile de cameline est citée lors de plusieurs études scientifiques comme l'étude de Sampath Anusha (257) de 2009 ou l'étude de M.A. Berhow *et al.* (197) de 2014. En revanche, aucune étude n'explique cette particularité.

L'étude de Sampath Anusha (257) a analysé la composition de 8 échantillons d'huile de cameline et notamment les insaponifiables. L'identification a permis de trouver 21 composés. Les principaux composants sont réunis dans le tableau suivant en fonction du pourcentage.

Nom	Pourcentage	Nom	Pourcentage
β -sitosterol	31 – 46	Phytol	2 – 9
Campesterol	8 – 30	14-Methylergost-8-en-3-ol	2 – 6
Cholesterol	5,8 – 9,3	Stigmasterol	1,20 – 3,70
Brassicasterol	4,6 – 7,5	Obtusifoliol	1,70 – 6,0
γ -sitosterol	2,05 – 27	Cycloartenol	1,2 – 3,5
δ 5-avenosterol	Traces – 11,75		

Tableau n°68 : Les principaux insaponifiables de l'huile de cameline d'après Sampath Anusha (257)

Le second tableau nous illustre les différents composants en fonction des huit échantillons en mg / 100 g d'huile.

Compound	GNG17	GNG-19	GNG1	GNG18	GNG-12	GNG 13	GNG-4	GNG-22
	Unrefined	Unrefined	Unrefined	Unrefined	Deodorized*	Deodorized*	Refined**	Refined**
Unsaponifiables	750	460	750	670	470	780	580	600
phytol	47.9	9.1	17.9	39.4	42.2	70	15.4	45.4
squalene	63	11.8	44	24	49.83	65.2	41.9	31.32
δ -tocopherol	.....	.....	.....	.....	traces	.....	1.1	.....
22-déhydrocholesterol	19.3	traces	13.4	4.3	traces	16.1	.....	.....
retinoic acid	.....	3	.....	.....	.....	.....	14.9	.....
cholesterol	69.2	36.7	63.5	52.1	35.4	75.5	53.8	34.00
6-methylcholest-5-en-3-ol	traces	traces	traces	6.00	.....	traces	.....	.....
brassicasterol	47.7	25.1	43.6	33.5	35.2	50.5	39.4	27.7
14-methylergost-8-en-3-ol	35.2	8.9	27.1	25	28.2	43.0	22.5	24.9
14-methylfecosterol	.....	traces	traces	.....	42.6	.....	.....	.....
campesterol	161	126	187	198	35.6	159	148	118.5
stigmasterol	21.1	5.2	.....	traces	17.1	24.4	traces	traces
obtusifoliol	36.2	8	35.6	15.1	26.3	44.5	34.9	.....
β -sitosterol	218	219	273	267	39	.....	182	223
γ -sitosterol	traces	traces	traces	traces	traces	213	.....	.....
δ 5-avenosterol	traces	traces	traces	traces	55.1	traces	traces	.....
cycloartenol	20.1	5.6	21.00	5.3	16.5	18.5	22.4	65
Vitamin E	10.7	.....	traces	.....	5.7	traces	traces	traces
β -amyryn	.....	traces	15.00	.....	15.8	.....	traces	24.8
α -1-sitosterol	traces	0.7	8.00	traces	.....	.....	traces	.....

* Deodorized samples (GNG-12-deodorized 3 times, GNG-13-deodorized 1 time)

** Refined samples (chemically refined samples-degummed, neutralized, bleached, winterized and deodorized)

Tableau n°69 : Composition en mg / 100 g d'huile des insaponifiables des huit échantillons d'huile de cameline d'après Sampath Anusha (257)

L'étude de M.A. Berhow *et al.* (197) liste les différents composants et notamment les stérols et les tocophérols retrouvés dans l'huile de cameline (plus précisément dans les 0,5 à 0,8 % d'insaponifiables).

Stérols		Tocophérols	Terpènes non cyclisés
β-Sitosterol	Campesterol	α-Tocopherol	Squalene
Campestanol	Cholesterol	β-Tocopherol (T)	Phytol
Brassicasterol	γ-Sitosterol	γ-Tocopherol	Squalane (T)
Sitostanol	Stigmasterol (T)	δ-Tocopherol (T)	
δ-7-Avenosterol (T)	14-Methylergost-8-en-3-ol (T)	Retinoic acid (T)	
δ-5-Avenosterol (T)	Stigmasta-5,24-dienol	Plastochromanol	
Obtusifoliol (T)	Cycloartenol (T)		
24-Methylenecycloartanol	α-1-Sitosterol (T)		
14-Methylfecosterol (T)	6-Methylcholest-5-en-ol (T)	<u>Légende:</u> (T) = Traces	
Gramisterol + α-amyirin	β-Amyrin (T)		
Citrostadienol			

Tableau n°70 : Liste des composants retrouvés dans les insaponifiables de l'huile de cameline d'après M.A. Berhow et al. (197)

Il y a énormément de composés dans les insaponifiables et en fonction des études, la liste varie du fait de leurs très faibles concentrations. Cette étude nous indique que la concentration des insaponifiables diminue avec le temps de stockage et l'augmentation de la température d'où des conseils d'utilisation rapide et une conservation au frais de l'huile de cameline.

d) Les phénols

La teneur totale en phénols peut énormément varier notamment en fonction du mode d'extraction : avec une méthode utilisant l'extraction à froid, la quantité obtenue est moindre qu'avec celle utilisant la chaleur et/ou des pressions élevées. Les composés phénoliques ont pour rôle de protéger la graine et la plante d'une détérioration.

Une étude réalisée en Turquie en 2018 par Pelin Günç Ergönül et Zeynep Aksoylu Ozbek (236) s'est penchée sur dix espèces de cameline développées localement. La concentration des polyphénols était calculée à partir d'une équation de régression de la gamme d'étalonnage établie avec l'acide gallique et exprimé en équivalent d'acide gallique

(GAE) : la teneur la moins importante était de 29,50 +/- 0,31 mg GAE/kg et la plus importante était de 112,70 +/- 0,98 mg GAE/kg ce qui est plus du triple.

e) Les phospholipides

Les céramides (Cers) sont aussi présentes dans l'huile de cameline. Elles sont parfois nommées les acylsphingosines. Ce sont le résultat d'une combinaison d'un acide gras à longue chaîne (entre 16 et 24 C) avec la sphingosine *via* une liaison amide (*cf.* figure n°195).

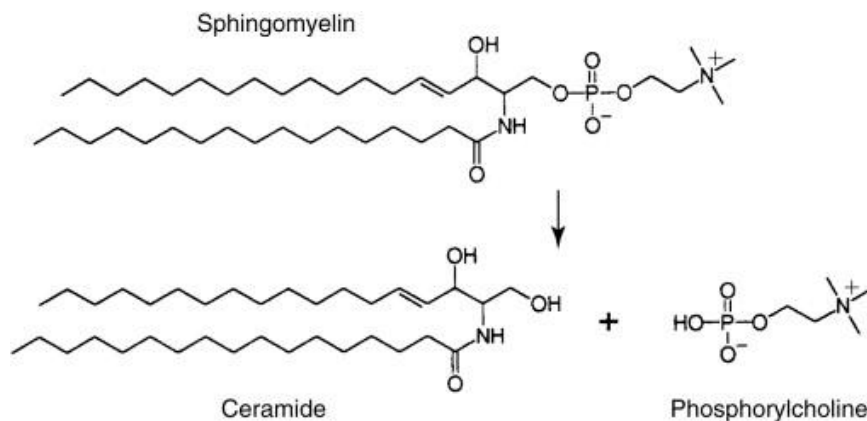


Figure n°195 : Exemple de céramide d'après Dixit et Hofmann Kay (104)

Les céramides ont un intérêt en cosmétologie puisque ce sont des composants importants de la couche externe de l'épiderme (la couche cornée).

Mansour *et al.* (203) en 2014 ont indiqué que l'huile de cameline qu'ils ont étudiée se compose de 0,8 % de mono-acylglycérols et de 0,3 % de phospholipides. Nous allons nous intéresser à ces 0,3 % de phospholipides en étudiant la composition de la lécithine. La lécithine, sous-produit du traitement de l'huile, est contenue dans la graine. Elle est utilisée dans divers domaines comme l'industrie alimentaire, la cosmétique ou l'industrie pharmaceutique en tant qu'émulsifiant ou solubilisant. Dans de nombreux produits, elle apparaît comme additif alimentaire sous le nom de « E322 ». Le marché actuel vaut plus d'un milliard d'euros. Elle contient principalement des phospholipides (teneur supérieur à 50 ou 60 % en fonction des législations), des glycolipides (GL), des triglycérides (TGA), des AG, des stérols et des glucides. La lécithine est présente dans les graines de tournesol, de colza ou d'arachide et sa principale source, à l'heure actuelle, est la graine de soja, sojas génétiquement modifiés en majorité. En fonction de la source, sa composition est différente ce qui va jouer sur ses propriétés. La demande mondiale ne cesse d'augmenter, surtout en lécithine naturelle et de haute qualité, si possible non génétiquement modifiée. Les

chercheurs de l'équipe de Belayneh (44) en 2018 se sont intéressés à la lécithine de cameline. Cette dernière est récupérée à partir des gommages pendant le raffinage pour être ensuite purifiée. Le dégommeage peut être fait soit avec de l'eau soit avec de l'acide. Pour une utilisation alimentaire, l'eau sera utilisée. La composition obtenue en AG de la lécithine de cameline est représentée dans le tableau ci-dessous. Les chercheurs ont utilisé deux méthodes différentes : le dégommeage enzymatique (EDCL) et le dégommeage à l'eau (WDCL).

Fatty acids	Common name	EDCL		WDCL
C16:0	Palmitic	8.2 ± 0.1*		7.7 ± 0.3*
C18:0	Stearic	7.8 ± 0.2*		3.2 ± 0.2*
C18:1	Oleic	15.5 ± 0.1*	>	15.1 ± 1.0*
C18:2	AL Linoleic	17.4 ± 0.1*	<	19.6 ± 0.7*
C18:3	ALA Linolenic	28.3 ± 0.4*	<	34.3 ± 1.5*
C20:0	Arachidic	2.6 ± 0.1*		3.1 ± 1.3*
C20:1	Eicosenoic	16.5 ± 0.4*	>	12.9 ± 1.2*
C20:2	Eicosadienoic	1.9 ± 0.1*		1.7 ± 0.2*
C22:1	Erucic	4.1 ± 0.3*		2.7 ± 0.3*

* Values are reported as the mean ± standard deviation based on triplicate experiments and analyses. WDCL: water-degummed camelina lecithin; EDCL: enzyme-degummed camelina lecithin.

Tableau n°71 : Composition de la lécithine de cameline en fonction de deux méthodes d'extraction (l'eau et les enzymes) par Belayneh (44)

La composition de la lécithine dépend de la méthode d'extraction. Cependant, l'ALA (C18 :3) est le plus présent (34,3 % pour l'eau et 28,3 % pour les enzymes) suivi de l'acide linoléique ((C18 :2) 19,6 % pour l'eau et 17,4 % pour les enzymes). Ensuite, cela dépend de la technique appliquée.

La teneur en AGS est plus importante avec une extraction à l'eau. En revanche, la teneur en acides gras insaturés du dégommeage à l'eau est significativement plus élevée que celle du dégommeage enzymatique.

La lécithine de cameline est composée de nombreux phospholipides :

- PI : phosphatidylinositol
- LPI : lysophosphatidylinositol
- PE : phosphatidyléthanolamine
- LPE : lysophosphatidyléthanolamine...

Les phospholipides sont indispensables au bon fonctionnement de notre système nerveux. La teneur en phospholipides de la lécithine de cameline va varier en fonction de la méthode d'extraction. Les résultats sont réunis dans le tableau suivant.

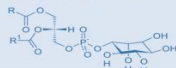
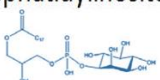
	Extraction à l'eau (WDCL)	Extraction avec les enzymes (EDCL)
PI: Phosphatidyinositol 	25,2 %	37,8 %
LPI: Lyso-phosphatidyinositol 	4,6 %	12,2 %

Tableau n°72 : Les différences significatives de composition en phospholipides de la lécithine de cameline en fonction de deux méthodes d'extraction (l'eau et les enzymes) par Belayneh (44)

Les teneurs en PE et LPE sont comparables. La lécithine de cameline riche en PI, pourra être utilisée comme alternative à d'autres lécithines utilisées par exemple dans l'industrie de la confiserie.

Les lécithines sont classées en fonction des différentes proportions de phospholipides qui les composent. Les tableaux ci-dessous réalisés par Bardeau Tiphaine (39) nous indiquent différentes compositions en phospholipides de lécithines.

Phospholipides	Soja (Liu and Ma, 2011)	Tournesol (Hollo et al., 1993)	Colza (van Nieuwenhuyzen and Tomás, 2008)	Phospholipides	Jaune d'œuf (Gładkowski et al., 2011 ; Rossi, 2007)	Lécithine marine (Pinsolle et al., 2014)	Lait (Schneider, 2011)
Composition en phospholipides (%)				Composition en phospholipides (%)			
Phosphatidylcholine	29 – 39	41	37	Phosphatidylcholine	66 – 76	64	26
Phosphatidyléthanolamine	20 – 26	17	20	Phosphatidyléthanolamine	15 – 24	30	23
Phosphatidylinositol	13 – 18	23	22	Phosphatidyinositol	-	1	7
Phosphatidylsérine	6	-	-	Phosphatidylsérine	1	3	8
Acide phosphatidique	5 – 9	3	9	Acide phosphatidique	-	0	2
Sphingomyéline	-	-	-	Sphingomyéline	3 – 6	-	26
Autres phospholipides	9	16	13	Autres phospholipides	3 – 6	1	-
Phospholipides et acides gras de lécithines végétales				Phospholipides et acides gras de lécithines animales			

Tableau n°73 : Les compositions en phospholipides de différentes lécithines d'après Bardeau Tiphaine (39)

Le phospholipide le plus présent est la phosphatidylcholine (PC) à hauteur de 29 à 41 % chez les sources végétales et de 26 à 76 % chez les sources animales. Pour les trois huiles testées, le principal phospholipide est la phosphatidylcholine. Le second est différent,

pour l'huile de tournesol, on a le phosphatidylinositol à 23 ce qui ressemble à l'huile de cameline avec le dégommeage à l'eau où l'on est à 25. Le soja a la particularité d'avoir de la phosphatidylsérine.

La réalisation des deux études de Belayneh (43 et 44) a amené de nouvelles données sur les phospholipides et notamment sur la PC. D'après les résultats des études, voici la composition lipidique, en pourcentage de poids, de la lécithine de cameline dégommée par l'enzyme ou à l'eau.

Phospholipides	Pourcentage avec un dégommeage enzymatique	Pourcentage avec un dégommeage à l'eau
Phosphatidylinositol (PI)	37,8 +/- 1,6	25,2 +/- 1,5
Lysophosphatidylinositol (LPI)	12,2 +/- 0,2	4,6 +/- 0,1
PE (phosphatidylethanolamine) + LPE (lysophosphatidyléthanolamine)	5,7 +/- 0,5	4,0 +/- 0,3
LPC (lysophosphatidylcholine) + PC (phosphatidylcholine)	Traces	Traces
ASG (acylated sterol glucosides)	Non détecté	Traces
SG (sterol glucosides)	Non détecté	Traces
MGDG (monogalactosyl diglycerides)	Non détecté	Traces
Phosphatidylcholine (PC)	Quantité non significative	

Tableau n°74 : Les différents pourcentages de phospholipides obtenus avec un dégommeage à l'eau ou un dégommeage enzymatique d'après Belayneh (44)

En fonction de la technique utilisée, les teneurs en phosphatidylcholine varient énormément. La PC est principalement présente quand l'extraction se fait avec de l'éthanol comme nous le montrent les travaux de Belayneh (cf. tableau n°75). Ceci a été retrouvé avec certains génotypes de soja.

Pression (MPa)	Température (°C)	Ethanol (%)	PI (mg/kg de lipides)	PE (mg/kg de lipides)	PC (mg/kg de lipides)	Total phospholipides
35	70	0	790	30	Non détecté	820
35	70	5	1360	500	30	1800
35	70	10	2500	600	5000	8000
Extraction à froid			80	21	29	130
Extraction avec de l'hexane			240	40	76	360

Tableau n°75 : Composition en phospholipides de l'huile de cameline en fonction des méthodes d'extractions d'après Belayned (44)

La phosphatidylcholine est le principal phospholipide quand l'extraction est réalisée avec 10 % d'éthanol alors qu'on ne le retrouve pas ou peu avec une extraction à froid ou avec 5 % d'éthanol. Dans ce cas, le principal phospholipide est le PI.

3. Contrôle d'identité et de pureté

Chaque huile est caractérisée par :

- Son indice d'acidité
- Son indice de peroxyde
- Son indice d'iode
- Son indice de saponification
- Ses impuretés...

Le décret n°2008-184 du 26 février 2008 (191) porte sur l'application du code de la consommation en ce qui concerne les graisses et les huiles comestibles. Il impose des contrôles quantitatifs et qualitatifs.

Le contrôle quantitatif permet de vérifier que le volume vendu correspond bien au volume présent dans la bouteille ou dans le flacon.

Les contrôles qualitatifs vont permettre de vérifier l'intégrité de l'emballage, que le produit fourni correspond au produit demandé... Ils doivent respecter la norme NF EN ISO 5555 de septembre 2014 (9) rédigée par l'AFNOR (Association française de normalisation)

qui portent sur les corps gras bruts ou transformés d'origine animale ou végétale et plus précisément sur les méthodes d'échantillonnage ainsi que les appareillages.

Les deux tableaux ci-dessous résument les différents paramètres, la norme et la détermination.

Paramètres	Méthode décrite dans la norme	Détermination
Indice d'iode I_I	NF EN 3961:2018	Niveau d'insaturation des huiles
Acidité A Indice d'acide I_A	NF EN ISO 660: septembre 2009	Marqueur d'oxydation, teneur en AGL
Indice de peroxyde I_p = mesure de la quantité d' O_2 chimiquement lié à une huile ou un corps gras sous forme de peroxydes,	NF EN ISO 3960 (par iodométrie) / NF EN ISO 27107 (par potentiométrie)	Marqueur d'oxydation

INDICE D'IODE I_I
 = cg de diiode I_2 nécessaire pour saturer les doubles liaisons contenues dans 1 g de matière grasse ou quantité (en g) d'iode pouvant être additionnée à 100 g de corps gras

Il permet la détermination du nombre d'insaturations d'un acide gras

Par définition:
 $- I_I$ d'un AGS = 0
 $- I_I$ est constant pour une matière grasse pure (sa détermination confirme ou non la pureté d'une matière grasse utilisée dans un aliment)

INDICE D'ACIDE I_A
 = mg de potasse nécessaire pour neutraliser les AGL contenus dans 1 g du corps gras à température ambiante

⇒ Détermination de la quantité d'AGL dans la matière grasse = acidité résiduelle
 Une huile de bonne qualité à un faible taux d'acidité: ceci contribue à lui donner une bonne stabilité face à l'oxydation par l'air
 Dès que cet indice dépasse 2%, l'huile prend un goût de savon

INDICE DE PEROXYDE I_p
 (en méq. O_2 /kg d'huile)

- oxydation des AGI en présence de l' O_2 de l'air = rancissement
- Un indice élevé indique que le lipide est rance (modification du goût et apparition de composés indésirables: AGL et peroxydes)

Indice pas très significatif, les peroxydes sont instables

La détermination de la quantité des peroxydes d'un corps gras montre son altération par oxydation

Le principe de la méthode repose sur le traitement d'une prise d'essai, en solution dans l'acide acétique et du chloroforme, par une solution de l'iodure de potassium, puis le titrage de l'iode libéré par une solution titrée de thiosulfate de sodium

Tableau n°76 : Exemple de détermination de plusieurs paramètres d'après Laporte-Wojcik Catherine et LS

Paramètres	Méthode décrite dans la norme	Détermination
Indice de saponification I_s = caractéristique des AGL et AG estérifiés,	NF EN 3657:2020	<p>INDICE DE SAPONIFICATION I_s ou indice de KOETSTORDER</p> <p>= mg de potasse nécessaire pour transformer en savon les AG libres et/ou combinés de 1 g du corps gras</p> <p>Triglycéride + 3 KOH $\xrightarrow{\Delta}$ glycérol + savon</p> <p>= reflet de l'inverse du poids moléculaire moyen des AG \Rightarrow caractérisation d'un AG en fonction de la longueur de sa chaîne si I_s faible \Rightarrow AG comportant une chaîne carbonée plus longue</p>
Méthode chromatographique	NF EN ISO 5508 annulée le 08/08/2005 et confirmée par ISO 12966-1:2014 en 2020	Profil en AG Dosage par chromatographie en phase gazeuse après méthanolyse des triglycérides
Indice de réfraction	NF EN ISO 6320 Mai 2017	Indice de pureté
Teneur en vitamine E	NF EN ISO 12822 Juillet 2014	Dosage α -, β -, γ - et δ -Tocophérol Détermination par chromatographie liquide haute performance

Tableau n°77 : Exemple de détermination de plusieurs paramètres
d'après Laporte-Wojcik Catherine et LS

Il existe des indices de qualité pour les huiles végétales vierges et raffinées. La norme NF EN ISO 660 (Annexe n°3) fournit le protocole pour déterminer l'acidité dans les corps gras d'origine animale ou végétale. Elle comporte trois méthodes (deux méthodes titrimétriques et une potentiométrique). Le résultat se présente sous forme d'un indice d'acide (IA) ou en acidité calculée conventionnellement. L'indice d'acide permet de connaître la quantité d'AGL (Acide Gras Libre) dans la matière grasse (= acidité résiduelle). Plus l'indice d'acide est bas, plus l'huile sera stable face à l'oxydation. Quand l'indice est supérieur à 2 %, l'huile a un goût de savon.

Une des méthodes est le titrage des acides gras libres à l'aide d'une solution éthanolique d'hydroxyde de potassium. Les acides gras sont insérés dans un mélange d'éthanol et d'éther di-éthylique. Le mélange est ensuite dosé par une solution basique d'hydroxyde de potassium à 0,1 M. La norme est faite pour un volume de 25 mL d'éthanol/éther di-éthylique. La détection se fait visuellement par changement de l'indicateur coloré pendant au moins 30 secondes. L'indice d'acide a pour formule :

$$IA = (C_2 \times V_2 \times 56,1) / (m)$$
 avec C_2 , concentration d'hydroxyde de potassium en mol/L, V_2 , volume d'hydroxyde de potassium en mL et m , en grammes, masse de l'échantillon.

Le *Codex Alimentarius* (78) a fixé un indice d'acide maximum de 4 mgKOH/g d'huile pour les huiles vierges et pressées à froid et de 0,6 mgKOH/g pour les huiles raffinées. Il a aussi fixé un maximum pour l'indice de peroxyde. Pour le calculer, on se sert de la NF EN ISO 3960 (Annexe n°3). Elle permet d'évaluer la quantité de peroxyde présent (ce qui correspond à la quantité d'AGI déjà rance et donc à l'état d'oxydation). L'indice de peroxyde ou I_p a pour formule :

Indice de peroxyde = $[(V - V_0) \times N \times 100] / m$ avec V, volume de la solution de thiosulfate de sodium utilisé en mL, V_0 , volume de thiosulfate de sodium dans le test en mL, m, masse de la prise d'essai d'huile en grammes.

Plus I_p est élevé, plus il y a de lipides rances avec en conséquence, une modification du goût et l'apparition de composés indésirables type peroxydes. Le dosage des peroxydes formés se fait indirectement en présence d'iodure de potassium. Une huile raffinée peut aller jusqu'à 10 milliéquivalents d'oxygène actif/kg d'huile. Pour les huiles vierges et les huiles pressées à froid, c'est jusqu'à 15 milliéquivalents d'oxygène actif/kg.

L'indice d'iode comme vu précédemment permet de déterminer le nombre d'insaturations d'un acide gras. Il permet de classer les huiles en trois catégories : les huiles non-siccatives (indice inférieur à 110), demi-siccatives (indice entre 110 et 150) ou siccatives (indice supérieur à 150). Pour le calculer, il est nécessaire de réaliser deux titrages :

- Titrage d'un témoin
- Titrage après la réaction de l'échantillon

La différence entre les deux titrages détermine la quantité de diiode qui a réagi.

L'indice de saponification ou I_s ou indice de Koetstorder indique la quantité d'acides libres et liés contenue dans un gramme de matière grasse. C'est la masse de KOH (hydroxyde de potassium) nécessaire pour saponifier 1 gramme du corps gras. Il permet de caractériser un AG en fonction de la longueur de sa chaîne.

Le contrôle des impuretés insolubles permet de connaître le pourcentage d'impuretés dans l'huile raffinée. Il a pour formule : % impuretés = $[(\text{poids des résidus}) / (\text{poids d'échantillon})] \times 100$.

L'indice d'ester ou I_E correspond au nombre de mg d'hydroxyde de potassium nécessaire pour saponifier 1g du corps gras. L'acidité résiduelle ayant été éliminée. Il reflète la quantité de phytostérols et de tocophérols et en général, les insaponifiables.

L'humidité est calculée par une différence de poids après avoir été placée dans une étuve à une température de 105°C. Elle a pour formule : $H\% = [(m_1 - m_2) / (m_1 - T)] \times 100$ avec m_1 : la prise d'essai, m_2 : le poids de l'échantillon après l'étuve et T la tare.

La densité d'une huile augmente avec son degré d'insaturation comme démontré par les travaux d'Abramovic et d'Abram (6) de 2005. Ils ont porté sur une huile de cameline produite en Slovénie. Avant de réaliser les tests, l'huile a été mise à l'obscurité à une température de 8 °C pendant 3 semaines. Les résultats ont donné une teneur en AG libres de 2,35 % ce qui est élevé. Les règlements autorisent un taux jusqu'à 3 %. L'indice d'iode a été de 104,7 $gI_2/100 g$ d'huile. Le nombre de saponification est de 187,8. L'indice de réfraction à 25 °C est de 1,4756. La densité a été mesurée à plusieurs températures, les résultats ont été insérés dans le tableau suivant.

Densité (g/cm ³) à 20°C	Densité (g/cm ³) à 25°C	Densité (g/cm ³) à 35°C	Densité (g/cm ³) à 45°C	Densité (g/cm ³) à 50°C
0.9207	0.9184	0.9132	0.9073	0.9041

Tableau n°78 : Densité de l'huile de cameline en fonction de la température d'après Abramovic et Abram (6)

Cette expérience montre là que la densité varie en fonction de la température.

Les caractéristiques d'une huile de cameline vont dépendre de plusieurs paramètres dont l'origine. Les méthodes et les normes vont aussi dépendre des pays.

La fiche technique de l'huilerie Emile Noël (155) nous donne les normes et la méthode pour obtenir une huile de cameline de qualité et qui correspond aux demandes de certains états.

Caractéristiques	Normes	Méthodes
Indice de peroxyde (MeqO ₂ /kg)	Max 15	NF EN ISO 3960
Indice de réfraction	1,475 – 1,476	NF EN ISO 6320
Indice d'iode (g d'iode/100g)	130 – 160	NF EN ISO 3661
Indice de saponification	160 - 194	NF EN ISO 3657
Teneur en vitamine E moyenne (mg/100g)	4 - 15	NF EN ISO 12822
Teneur moyenne en acide gras saturés et insaturés		NF EN ISO 5508/5509

Tableau n°79 : Fiche technique de l'huilerie Emile Noël (155)

D'après la fiche technique de la distillerie Florihana® (103), les caractéristiques organoleptiques et physiques de l'huile de cameline Florihana® sont : une couleur vive jaune, une odeur caractéristique, un indice d'acide inférieur à 4 mgKOH /g, un point d'éclair à 175 °C et une densité à 20 °C comprise entre 0,910 à 0,930. Si l'huile ne respecte pas les critères, elle ne pourra pas être commercialisée.

Les chercheurs de l'étude de Rode (251) en 2002 ont comparé quelques paramètres entre l'huile de cameline française et l'huile de cameline slovène. Les résultats sont donnés sous la forme d'un tableau présent ci-dessous.

Caractéristiques	Huile de cameline slovène	Huile de cameline française
Indice d'acide	1,7 – 3,9	1,8
Indice d'iode	148 - 150	142
Indice de peroxyde	2,4 – 6,9	1,8
Indice de saponification	187 – 188	185
Teneur total en tocophérols (µg/g)	1151,82	900

Tableau n°80 : Comparaison d'une huile de cameline provenant de Slovénie et d'une huile de cameline provenant de France d'après Rode (251)

Quelques différences apparaissent : un indice de peroxyde et un indice de saponification plus bas mais surtout une teneur plus faible en tocophérols pour l'huile française.

L'huile de cameline est plus stable que l'huile de lin mais moins stable que d'autres huiles comme l'huile de colza ou l'huile d'olive. Une étude de Raczyk Marianna *et al.* (244) réalisée en Pologne en 2016 s'est intéressée à la qualité des huiles de lin et de cameline disponibles dans le pays. L'indice d'acide a été testé en suivant la méthode AOCS Cd 3d-63. L'indice de peroxyde (PV) a été établi selon la méthode AOAC 965.33. La valeur de p-anisidine (ANV) a été obtenue en suivant la méthode AOCS Cd 18-90. Les résultats sont représentés dans le tableau ci-dessous.

Oils	Symbol	Acid value (mg KOH/g)	Peroxide value (meq O ₂ /kg)	anisidine value (absorption × 100)
Linseed	LO1	3.20 ± 0.01 ^a	1.41 ± 0.05 ^a	0.56 ± 0.08 ^a
	LO2	0.98 ± 0.02 ^b	1.44 ± 0.01 ^a	0.56 ± 0.04 ^a
	LO3	0.55 ± 0.01 ^a	1.63 ± 0.04 ^a	1.50 ± 0.03 ^c
	LO4	0.51 ± 0.03 ^a	0.48 ± 0.03 ^b	0.28 ± 0.01 ^b
Camelina	FO1	0.53 ± 0.01 ^a	4.88 ± 0.07 ^c	0.46 ± 0.02 ^{ab}
	FO2	0.53 ± 0.03 ^a	2.07 ± 0.03 ^d	0.57 ± 0.01 ^a
	FO3	0.89 ± 0.07 ^b	1.10 ± 0.05 ^c	1.60 ± 0.04 ^c
	FO4	0.51 ± 0.02 ^a	1.41 ± 0.02 ^a	0.56 ± 0.02 ^a

Tableau n°81 : La valeur d'acide, la valeur de peroxyde et la valeur de p-anisidine en fonction de l'huile de lin et de l'huile de cameline par Raczyk Marianna *et al.* (244)

Les indices d'acides sont faibles (de 0,51 à 0,89 mgKOH/g pour la cameline et de 0,51 à 3,20 mgKOH/g pour le lin). Les indices de peroxyde sont inférieurs à 5 meq O₂/kg. La valeur obtenue est inférieure à la limite autorisée par le *Codex Alimentarius* que ce soit pour

l'indice d'acide (<4mg KOH/g) ou pour l'indice de peroxyde (< 15 méq O₂/kg). En ce qui concerne les valeurs d'anisidine, elles sont faibles sauf pour les huiles LO3 et FO3 qui sont significativement élevées. Il existe plusieurs méthodes pour évaluer la stabilité d'oxydation : le test de Rancimat, la calorimétrie à balayage à pression différentielle (PDSC). Les résultats des diverses expériences sont réunis dans le tableau suivant.

Oils	Symbol	Rancimat* (h)	PDSC** (min)
Linseed	LO1	5.63 ± 0.03 ^a	25.3 ± 0.1 ^b
	LO2	5.43 ± 0.09 ^a	25.1 ± 0.2 ^b
	LO3	3.96 ± 0.01 ^c	20.1 ± 0.2 ^a
	LO4	3.47 ± 0.03 ^b	19.8 ± 0.1 ^a
Camelina	FO1	5.02 ± 0.02 ^e	28.5 ± 0.3 ^c
	FO2	5.52 ± 0.06 ^a	30.7 ± 0.1 ^d
	FO3	6.18 ± 0.09 ^f	32.2 ± 0.3 ^e
	FO4	4.58 ± 0.03 ^d	27.9 ± 0.2 ^c

Tableau n°82 : Les résultats du test de Rancimat et de la calorimétrie à balayage à pression différentielle pour l'huile de lin et l'huile de cameline par Raczyk Marianna et al. (244)

D'après Métrohm (208), le test de Rancimat « accélère le processus de vieillissement de l'échantillon en l'exposant à la chaleur et au passage de grandes quantités d'air. Il mesure le temps nécessaire à l'oxydation du produit et définit le temps d'induction ou de stabilité à l'oxydation ou OIT ». La calorimétrie à balayage à pression différentielle permet elle aussi de mesurer le temps d'induction. Les figures suivantes illustrent le principe des deux méthodes.

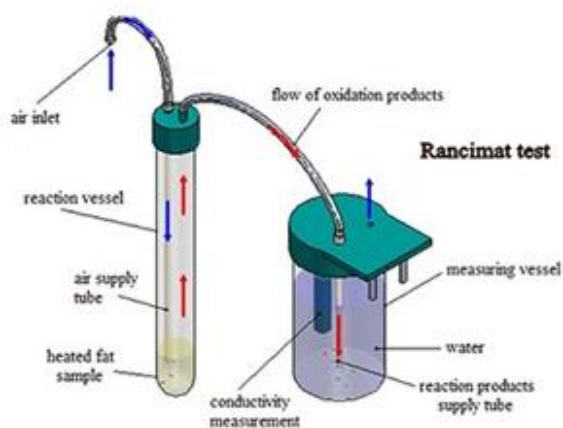


Figure n°196 : Le test de Rancimat d'après Raczyk Marianna et al. (244)

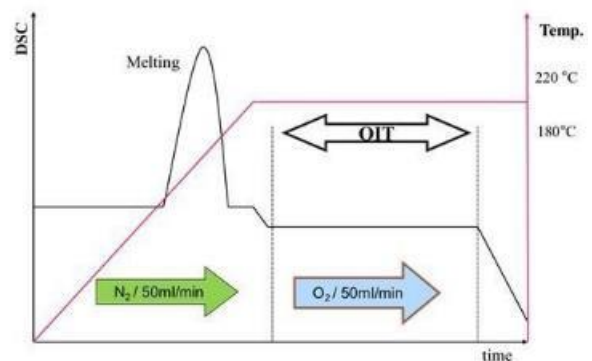


Figure n°197 : Détermination de la température d'oxydation induite par la méthode isotherme d'après Netzsch (222)

Le temps d'induction peut se définir à l'aide de deux techniques différentes d'après Netzsch (222) :

- dynamique : l'échantillon est chauffé dans des conditions oxydantes avec la même vitesse de chauffage
- isotherme : l'échantillon est chauffé dans une atmosphère gazeuse puis maintenu à une même température pendant plusieurs minutes pour obtenir l'équilibre. Ensuite, l'échantillon passe sous une atmosphère d'oxygène. L'OIT (temps d'induction à l'oxydation) correspond au temps entre la première exposition à l'oxygène et le début de l'oxydation

Le test de Rancimat a donné entre 4 h 58 et 6 h 18 pour l'huile de cameline et de 3 h 47 à 5 h 63 pour l'huile de lin, ce qui montre une faible stabilité à l'oxydation des huiles. La calorimétrie à balayage à pression différentielle a montré que le temps d'induction de l'huile de lin est significativement plus court que celui de l'huile de cameline avec une valeur d'OIT moyenne de 22,6 min pour l'huile de lin et de 30,6 min pour l'huile de cameline. Les deux tests nous permettent de confirmer que l'huile de lin est moins stable que l'huile de cameline.

4. Entreposage, embouteillage et péremption

Il est nécessaire de connaître la stabilité de l'huile à l'oxydation, ceci permet d'optimiser le stockage et de savoir la durée de conservation maximale sans diminution de ses propriétés nutritionnelles. Une huile qui a une bonne stabilité est souvent :

- riche en squalène
- avec une faible teneur en AGPI
- et une teneur élevée en AGMI.

En plus de l'oxydation, l'huile peut subir une hydrolyse. Il y aura une décomposition des acides gras en présence d'eau, les températures élevées vont favoriser ce phénomène. Pour éviter cela, l'huile est transportée puis stockée dans des récipients propres et secs.

Le *Codex Alimentarius* et plus précisément le code d'usages pour l'entreposage et le transport des huiles et graisses comestibles en vrac (78) nous indique les températures à respecter durant l'entreposage, le transport, le chargement et le déchargement (*cf.* tableau suivant).

Huile ou graisse	Entreposage et cargaison en vrac		Chargement et déchargement	
	Min °C	Max °C	Min °C	Max °C
Huile de ricin	20	25	30	35
Huile de coco	27	32	40 ¹	45 ¹
Huile de coton	Ambiante	Ambiante	20	25 ⁿ
Huile de poisson	20	25	25	30
Huile de pépins de raisin	Ambiante	Ambiante	10	20 ⁿ
Huile d'arachide	Ambiante	Ambiante	20	25 ⁿ
Huiles hydrogénées	Variable	-	Variable	- ^c
Beurre d'illipé	38	41	50	55
Saindoux	40	45	50	55
Huile de lin	Ambiante	Ambiante	10	20 ⁿ
Huile de maïs	Ambiante	Ambiante	10	20 ⁿ
Huile d'olive	Ambiante	Ambiante	10	20 ⁿ
Huile de palme	32	40	50	55
Oléine de palme	25	30	32	35
Stéarine de palme	40	45	60	70 ^s
Huile de palmiste	27	32	40 ¹	45 ¹
Oléine de palmiste	25	30	30	35
Stéarine de palmiste	32	38	40	45
Huile de colza/huile de colza à faible teneur en acide érucique	Ambiante	Ambiante	10	20 ⁿ
huile de carthame	Ambiante	Ambiante	10	20 ⁿ
Huile de sésame	Ambiante	Ambiante	10	20 ⁿ
Beurre de karité	38	41	50	55
Huile de soja	Ambiante	Ambiante	20	25 ⁿ
Huile de tournesol	Ambiante	Ambiante	10	20 ⁿ
Suif (Pour les voyages de 10 jours ou moins)	Ambiante	Ambiante	55	65
Suif (pour les voyages de plus de 10 jours)	35	45	55	65

Tableau n°83 : Les températures à respecter durant l'entreposage, le transport, le chargement et le déchargement d'après le Codex alimentarius (78)

L'huile de cameline n'apparaît pas dans le tableau. En effet, la dernière mise à jour du document date de 2015, c'est après que la cameline est revenue dans l'actualité. Au niveau des températures d'entreposage et de cargaison pour l'huile de cameline, elles sont identiques à celle de l'huile de lin ou d'olive.

L'huile de cameline alimentaire se consomme de préférence à froid une fois la bouteille ouverte. Elle s'oxyde facilement d'où une conservation à l'abri de l'air, de la lumière et au frais. C'est le phénomène d'oxydation qui va déterminer la date limite de consommation. L'oxydation va dépendre de plusieurs phénomènes notamment la composition de la graine, de l'huile et des conditions de stockage. L'oxydation des lipides va entraîner une modification des propriétés chimiques, sensorielles et nutritionnelles. En revanche, les tocophérols présents dans l'huile vont ralentir la vitesse d'oxydation. Ceci est

valable aussi avec les polyphénols mais ils sont souvent en trop petites quantités. Plus il y a de composés antioxydants, plus l'oxydation va prendre du temps.

L'oxydation des acides gras se fait à l'air libre (contact avec la lumière ou l'oxygène) et lors d'une augmentation de température. Ceci va avoir deux conséquences : la première est le rancissement et la deuxième est la siccativité. Lors du rancissement, il y a une rupture de la chaîne ce qui entraîne une libération de peroxydes qui seront convertis en aldéhydes et en acides.

Going en 1968 (134) a démontré que pour l'huile de soja raffinée, une hausse de température de 21 °C à 49 °C pendant sept semaines, a fait passer l'indice de peroxyde de 8 à 100 méq O₂/kg d'huile. Ceci serait dû au fait que la température augmentant, la vitesse de dissolution de l'oxygène à l'interface air-huile augmenterait aussi.

L'huile est souvent stockée dans des cuves de conservation. Les travaux d'Abramovic et d'Abram (6) ont porté sur les conditions de stockage.

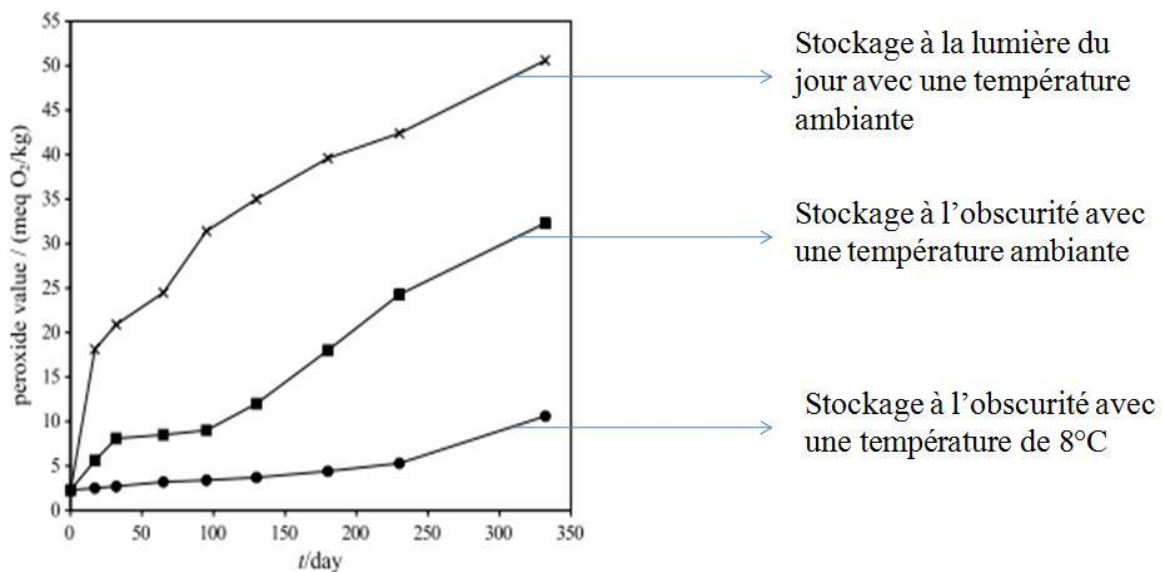


Figure n°198 : La durée de stockage augmente l'indice de peroxyde d'après Abramovic et Abram (6)

Ce graphique représente l'indice de peroxyde de l'huile de cameline pendant le stockage. D'après le *Codex Standards for Fats and Oils from Vegetable Sources*, l'indice de peroxyde maximal autorisé pour les huiles pressées à froid est de 15 milliéquivalents d'O₂ par kilogramme d'huile. L'huile de cameline est plus sensible à la lumière qu'à la température surtout au début de la période de stockage. Le graphique nous montre qu'il

faut qu'elle soit stockée à l'abri de la lumière pour être autorisée à la vente. C'est pourquoi pour son utilisation en cuisine, l'huile de cameline est proposée uniquement dans des emballages opaques. L'huile peut se garder un peu plus de 150 jours à une température ambiante. En revanche, si l'huile est conservée au frais et à l'abri de la lumière, on peut conserver l'huile beaucoup plus longtemps. L'étude s'est arrêtée à 11 mois et la limite n'était pas encore atteinte.

Une autre étude de Belayneh *et al.* publiée en 2018 (45) avait pour objectif d'étudier le potentiel de l'huile à former des émulsions stables riches en AG ω 3 que pourrait utiliser l'industrie alimentaire. D'après Wafa Dridi (310), « une émulsion est une dispersion colloïdale de deux liquides non miscibles dont l'un est dispersé dans l'autre liquide sous forme de gouttelettes et dont les interfaces sont recouvertes par des tensioactifs ». Il existe deux types d'émulsions avec une phase lipophile et une phase hydrophile :

- les émulsions de type huile dans eau (H/E) :
- les émulsions de type eau dans huile (E/H)

Le choix de l'émulsion a plusieurs avantages : l'amélioration de la stabilité de l'huile et le masquage de certaines odeurs (l'huile de cameline ayant une odeur assez forte qui peut être un frein à son attractivité pour des futurs consommateurs).

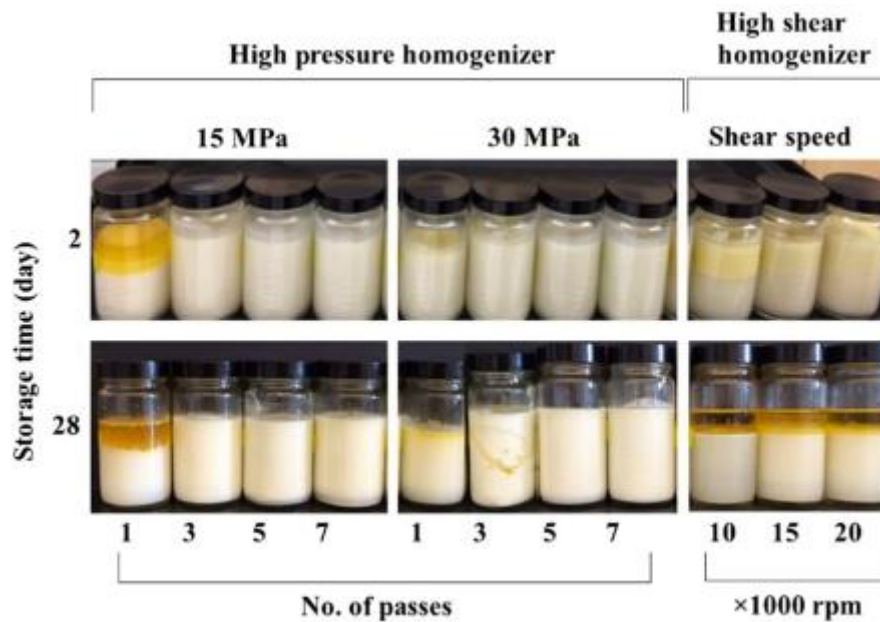


Figure n°199 : Photographie des émulsions en fonction de la pression, du temps et du nombre de passage dans l'homogénéisateur par Belayneh et al. (45)

Les émulsions ont été prises en photo au jour 2 et au jour 28. Pour les préparer, un homogénéisateur à haute pression à 15 ou 30 MPa ou un homogénéisateur à cisaillement ont été utilisés. Pour l'homogénéisateur à haute pression, les émulsions ont subi entre 1 et 7 passages. Pour l'homogénéisateur à cisaillement, il y a eu trois possibilités testées : 10 000, 15 000 ou 20 000 tours/minute. Les émulsions les plus stables semblent être obtenues à l'aide de l'homogénéisateur à haute pression à 30 MPa avec 5 ou 7 passages (elles sont restées stables pendant environ deux mois). Les émulsions obtenues avec l'homogénéisateur à cisaillement élevé présentent un crémage important, bien visible sur les photos. D'après Wafa Dridi (315), le crémage aussi appelé phénomène de sédimentation « est dû au déplacement des gouttelettes d'une émulsion en raison de la différence de masse volumique entre les gouttelettes et la phase continue, et conduit à la formation d'une couche concentrée au-dessus (crémage, cas des systèmes H/E) ou au-dessous (sédimentation, cas des systèmes E/H) de l'émulsion ».

Le microscope permet de se rendre compte qu'une augmentation de la pression diminue la taille des gouttelettes d'huile et une augmentation du nombre de passages a aussi cet effet avec une meilleure distribution de l'huile. Les gouttelettes d'huiles sont plus grosses lorsqu'on utilise l'homogénéisateur à cisaillement.

Dans un deuxième temps, ils se sont intéressés à la formation de peroxydes dans les émulsions. Sur le graphique, ci-dessous, se trouve la valeur du peroxyde en fonction du temps de stockage exprimé en jours. Le test a eu lieu en condition d'oxydation accélérée (les couvercles sont restés ouverts).

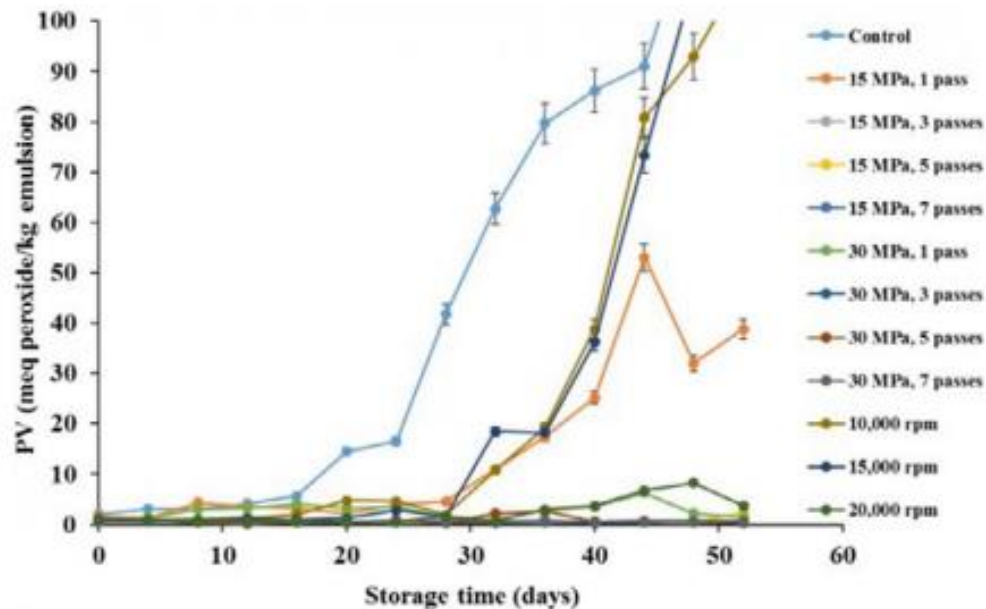


Figure n°200 : La valeur de peroxyde en fonction de différentes conditions de stockage par Belayneh et al. (45)

La courbe bleue représente l'émulsion d'huile de cameline témoin. Cette dernière commence à s'oxyder au 16^{ème} jour. Une augmentation importante est observée à partir du 28^{ème} jour quand l'homogénéisation s'effectue soit à fort cisaillement à 10 000 ou 15 000 tour/min soit sous haute pression à 15 MPa avec un passage. Le test a duré un peu plus de 50 jours, certaines émulsions comme l'homogénéisation à haute pression à 15 et 30 MPa avec 3 passages ou plus n'ont pas eu de formation de peroxydes. Une émulsion stable résiste mieux à l'oxydation.

Comment augmenter la durée de vie des huiles ?

Il existe plusieurs méthodes :

- l'encapsulation mais elle augmente les coûts de production
- l'ajout d'antioxydants dans l'huile

Les chercheurs de l'étude de Moslavac Thomas *et al.* (218) qui date de 2014 se sont intéressés à l'influence de différents antioxydants naturels (extrait de romarin Oxy .Less CS,

Oxy.Less CLEAR, StabilEnhance OSR, extrait de thé vert, de feuilles d'olivier ou de grenade). Les industriels cherchent de plus en plus d'antioxydants naturels et délaissent les synthétiques. Ces antioxydants ont été testés à deux concentrations différentes (0,1 % et 0,3 %). L'indice de peroxyde (PV : peroxyde value) a été réalisée avant le test de Schaal Oven (63 °C) et après quatre jours.

Le test de Schaal Oven est un test d'oxydation accéléré. Les échantillons sont conservés pendant plusieurs jours à une température constante et contrôlée, ici à 63°C. Chaque jour, il est extrait de l'échantillon de la matière grasse pour calculer l'indice de peroxyde, c'est lui qui indiquera l'état d'oxydation.

Les résultats de l'étude sont présentés ci-dessous (figure n°201).

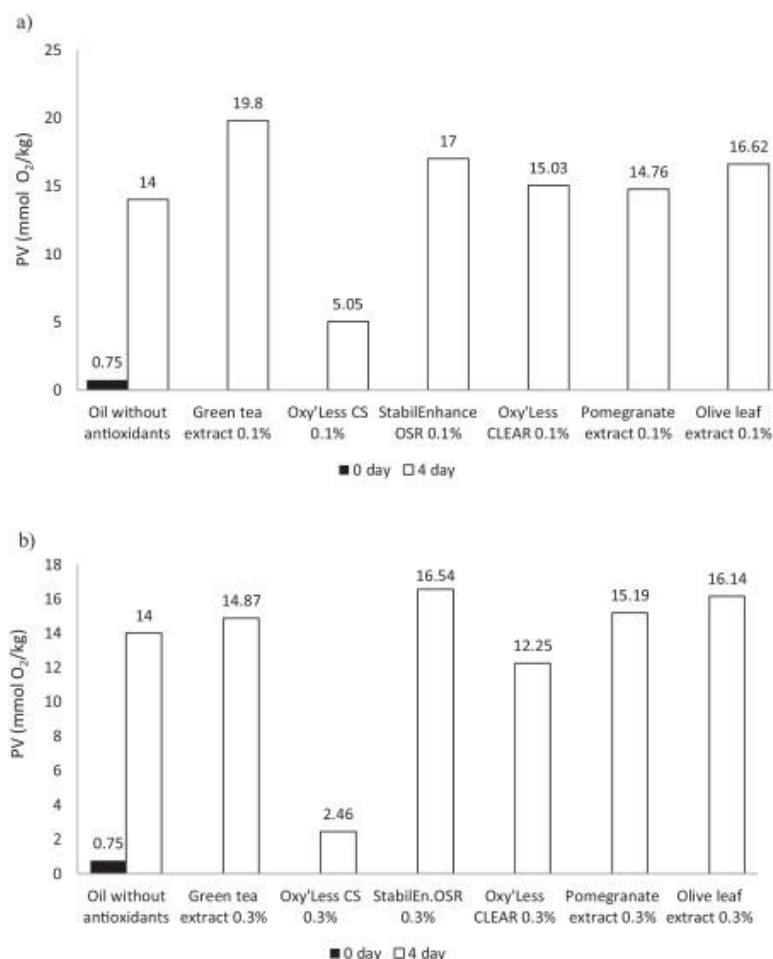


Figure n°201 : Concentrations des différents oxydants testés lors de l'étude de Moslavac Thomas et al. (218)

La concentration de 0,3 % d'extrait de romarin Oxy.Less CS a été la plus efficace pour protéger l'huile de l'oxydation (de 0,75 mmolO₂/kg à 2,46 mmolO₂/kg au bout de quatre

jours). Avec une concentration de 0,1 %, c'était déjà cet extrait qui fonctionnait le mieux (de 0,75 à 5,05 mmolO₂/kg). Presque tous les autres extraits testés ont des indices de peroxyde supérieurs à la valeur de l'huile seule (de 0,75 à 14 mmolO₂/kg).

Une étude de Szterk Arkadiusz *et al.* (276) publiée en 2010 a voulu connaître la stabilité oxydative de plusieurs huiles dont l'huile de cameline nommée CCSO. On retrouve l'huile de colza raffinée (RRO), huile de lin (CLSO), huile de bourrache (CBO), l'huile d'onagre (CPO), l'huile de pépin de courge (PSO) et l'huile d'amande (CAO).

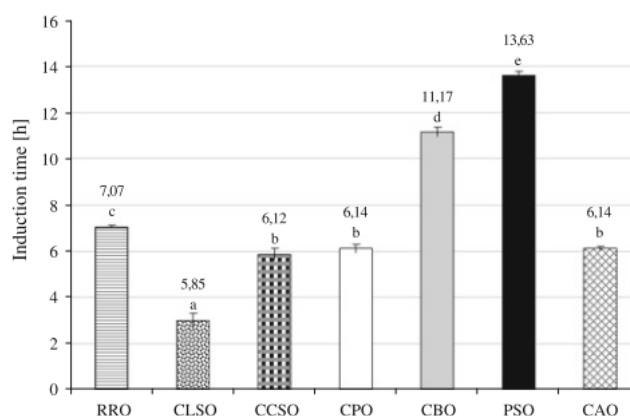


Figure n°202 : Le temps d'induction des différentes huiles de l'étude de Szterk Arkadiusz *et al.* (276)

Le test de Rancimat a été effectué à 100 °C avec un débit d'air de 10 L/h, le temps d'induction a varié de 5,85 heures pour l'huile de lin à 13,63 heures pour l'huile de pépin de courge (*cf.* figure n°202). L'huile de cameline se situe à 6,12 heures, au même niveau que l'huile d'amande ou l'huile d'onagre.

L'étude nous montre bien que la stabilité dépend de nombreux facteurs. Si seulement la composition en acides gras rentrait en compte, les huiles seraient classées dans l'ordre suivant :

1. huile la plus stable : huile de colza raffinée notée RRO
2. huile de pépin de courge notée PSO
3. huile d'amande notée CAO
4. huile de bourrache notée CBO
5. huile de cameline notée CCSO
6. huile d'onagre notée CPO
7. et huile la moins stable : huile de lin notée CLSO.

Or l'huile de colza n'est pas l'huile la plus stable. Les résultats s'expliquent puisqu'il faut prendre en compte d'autres paramètres tels que les tocophérols. L'huile de bourrache est riche en tocophérols ce qui explique sa très bonne stabilité. En plus des tocophérols, il faut tenir compte de la teneur en stérols. Les deux huiles les plus résistantes avaient les concentrations les plus faibles. L'huile la plus riche en phytostérols est l'huile d'amande, sa composition en AG lui donne une grande stabilité pourtant lors du test, sa stabilité n'était pas exceptionnelle. Les phytostérols possèdent des doubles liaisons non saturées dans les chaînes latérales aliphatiques et elles peuvent facilement être oxydées.

Embouteillage

L'huile de cameline va être mise en bouteille pour la commercialisation. Ce procédé comporte plusieurs étapes et des contrôles sont réalisés tout au long du processus. Il est réalisé sous vide d'air pour que l'huile ne soit pas en contact avec l'oxygène. Les bouteilles utilisées sont en verre opaque pour l'huile de cameline alimentaire.

La mise en bouteille peut être manuelle ou industrielle. Voici un exemple de procédé pour une mise en bouteille manuelle pour une huile de colza mais ceci peut s'appliquer à l'huile de cameline. « À la sortie de la presse, un tuyau emmène l'huile dans des bacs en inox (tanks à lait reconvertis), d'où elle est ensuite pompée par une pompe à vide pour l'embouteillage. L'embouteillage, l'encapsulation et l'étiquetage sont pour l'instant manuels » d'après Druesne Céline (105).

Les lignes de productions industrielles vont remplir les bouteilles puis ensuite la machine positionne le bouchon et le sertie. L'étiquette va être apposée sur les bouteilles, celles-ci vont être mises en palettes pour l'expédition. L'étiquetage répond à des normes et notamment à l'article 5 du règlement CE n°852/2004 (247). Elle doit comporter :

- ➔ La dénomination de vente
- ➔ La quantité nette
- ➔ La date limite d'utilisation optimale
- ➔ L'indication des conditions particulières de conservation et d'utilisation
- ➔ Le nom, adresse du fabricant

La figure suivante nous présente la marque de salubrité ou estampille. Ceci permet l'identification de l'établissement et de s'assurer de sa certification sanitaire.



Figure n°203 : La marque de salubrité d'après le règlement CE n°853/2004 (247)

Le chapitre X du règlement CE n°852/2004 (247) indique les « Dispositions applicables au conditionnement et à l'emballage des denrées alimentaires »

1. « Les matériaux constitutifs du conditionnement et de l'emballage ne doivent pas être une source de contamination. »
2. « Les conditionnements doivent être entreposés de telle façon qu'ils ne soient pas exposés à un risque de contamination. »
3. « Les opérations de conditionnement et d'emballage doivent être effectuées de manière à éviter la contamination des produits. Le cas échéant, notamment en cas d'utilisation de boîtes métalliques et de bocaux en verre, l'intégrité et la propreté du récipient doivent être assurées. »

Péremption de l'huile de cameline

Sur les bouteilles d'huiles commercialisées, il y a une date de péremption. Il peut s'agir d'une DLC ou d'une DLUO. Une DLC est une date limite de consommation alors qu'une DLUO est une date limite d'utilisation optimale. C'est-à-dire qu'après cette date, l'huile peut avoir perdue de sa saveur mais elle n'est pas forcément mauvaise. Il y aura cependant une perte de sa qualité nutritive. Si la date est vraiment dépassée, il y a des risques que l'huile soit devenue rance. Dans ce cas, on peut la recycler et s'en servir pour fabriquer des bougies. Par exemple, pour fabriquer une bougie / veilleuse senteur avec une mèche flottante, il faut

environ 70 mL d'eau et 30 mL d'huile végétale d'après Guittat Sophie (140). La veilleuse sera parfumée avec 2 mL d'huile essentielle. L'huile essentielle choisie dépendra de l'odeur que l'on souhaite obtenir. La fabrication nécessite trois grandes étapes que sont

- le socle flottant
- la mèche à bougie
- le remplissage du récipient en verre

La DLUO a été remplacée par la DDM (Date de Durabilité Minimale). La DDM est précédée de la mention : « à consommer de préférence avant le ... » quand la date comporte l'indication du jour ou « à consommer avant fin ... ». La précision de la date va dépendre de la durabilité comme le montre le tableau ci-dessous.

Durabilité du produit	Règle d'indication
Inférieure à 3 mois	Indication du jour et du mois
Entre 3 et 18 mois	Indication du mois et de l'année
Supérieure à 18 mois	Indication de l'année

Tableau n°84 : La règle d'indication pour la DDM en fonction de la durabilité du produit d'après la DGCCRF (100)

Sur les conditionnements, la DLC est exprimée par la mention « à consommer jusqu'au... » suivie du jour et du mois. Seul le dépassement de la DLC peut avoir un risque pour la santé.

En ce qui concerne l'huile de cameline, pour la bouteille de 250 mL ou pour la bouteille de 500 mL, l'inscription est la suivante : « à consommer de préférence avant le jour/mois/année ».

F. *Camelina sativa et les utilisations de son huile*

1. Utilisations de l'huile de cameline

a) *En pharmacie*

Les produits à base d'huile de cameline ne sont pas des médicaments, ils n'ont donc pas d'AMM (Autorisation de Mise sur le Marché) et sont disponibles ailleurs qu'en pharmacie. L'huile de cameline est utilisée dans un très large domaine de produits qui va du complément alimentaire au crayon pour les yeux (Ecrinal : le crayon avec une mine tendre noire ou bleue du laboratoire Aseptia®) en passant par les shampoings. Le pharmacien a un rôle à jouer pour les produits de soins que les personnes fabriquent chez elle. Le « Do It Yourself » ou « faites le vous-même » est devenu de plus en plus tendance et touche tous les domaines (cuisine, décoration, beauté...). Des recettes de produits pour tout et avec tout et n'importe quoi sont facilement disponibles. Il est donc important que l'équipe officinale puisse conseiller les personnes qui souhaitent réaliser eux-mêmes leurs produits de beauté. Beaucoup d'ingrédients sont disponibles dans les pharmacies que ce soit les huiles essentielles, les huiles végétales ou mêmes les flacons. De plus, le pharmacien et son équipe pourront vérifier qu'il n'y a pas de contre-indication avec les traitements de la personne.

(1) Véhicule pour les huiles essentielles

Les huiles végétales et les huiles essentielles sont souvent utilisées ensemble pour avoir une synergie d'action et les HE étant insolubles dans l'eau, elles ont besoin d'un véhicule. D'après la commission de la Pharmacopée Européenne, une huile essentielle est : « un produit odorant, généralement de composition complexe, obtenue à partir d'une matière 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 » (30). A noter que l'huile essentielle qui devrait être nommée essence végétale n'est pas une huile d'un point de vue chimique (ce n'est en aucun cas un corps gras) et bien que d'origine naturelle, ce n'est pas forcément un produit bénin. C'est un concentré de principes actifs obtenus par distillation d'une plante aromatique. Il existe plusieurs supports pour les huiles essentielles : le comprimé neutre, les huiles végétales, le bain, l'eau si on utilise un diffuseur....

L'huile de cameline n'est pas la plus utilisée pour être véhiculée, mais il est possible de s'en servir comme telle. Elle est indiquée par voie orale ou par voie cutanée, dilution de l'huile essentielle pour la rendre non agressive pour la peau. Le but est d'associer les propriétés de l'huile essentielle et de l'huile végétale. Avant de les appliquer, il faut poser quelques questions à la patiente pour connaître son âge, sa ou ses pathologies...

Le tableau suivant réunit les posologies des huiles essentielles pour la voie orale et pour la voie cutanée en fonction de son âge.

	Voie orale	Voie cutanée
Adulte	2 gouttes 3 fois par jour	3 à 4 gouttes 3 à 4 fois par jour
Enfants de 6 à 12 ans	1 goutte 3 fois par jour	2 gouttes 3 à 4 fois par jour
Enfants de 3 à 6 ans	Pas avant 6 ans	4 gouttes par jour

Tableau n°85 : Les posologies des huiles essentielles par voie orale et cutanée d'après Pranarom (240)

En usage cutané, il est parfois indispensable de diluer les huiles essentielles dans des supports tels que les huiles végétales. Le tableau suivant nous illustre le nombre de gouttes d'huiles essentielles dans un volume défini pour obtenir un pourcentage de dilution.

Mélanges aromatiques	5 ml	10 ml	15 ml	30 ml	50 ml	Se conformer aux recommandations annexes.	
	BASE VÉGÉTALE¹						
HUILE(S) ESSENTIELLE(S)²	1 gtt QSP 5 ml	2 gtt QSP 10 ml	3 gtt QSP 15 ml	7 gtt QSP 30 ml	12 gtt QSP 50 ml	1 %	
	3 gtt QSP 5 ml	7 gtt QSP 10 ml	11 gtt QSP 15 ml	22 gtt QSP 30 ml	37 gtt 1,5 ml QSP 50 ml	3 %	
	6 gtt QSP 5 ml	12 gtt QSP 10 ml	18 gtt QSP 15 ml	37 gtt 1,5 ml QSP 30 ml	62 gtt 2,5 ml QSP 50 ml	5 %	
	8 gtt QSP 5 ml	17 gtt QSP 10 ml	26 gtt QSP 15 ml	52 gtt 2,1 ml QSP 30 ml	87 gtt 3,5 ml QSP 50 ml	7 %	
	12 gtt QSP 5 ml	25 gtt 1 ml QSP 10 ml	37 gtt 1,5 ml QSP 15 ml	75 gtt 3 ml QSP 30 ml	125 gtt 5 ml QSP 50 ml	10 %	
	18 gtt QSP 5 ml	37 gtt 1,5 ml QSP 10 ml	56 gtt 2,25 ml QSP 15 ml	112 gtt 4,5 ml QSP 30 ml	187 gtt 7,5 ml QSP 50 ml	15 %	
	25 gtt 1 ml QSP 5 ml	50 gtt 2 ml QSP 10 ml	75 gtt 3 ml QSP 15 ml	150 gtt 6 ml QSP 30 ml	250 gtt 10 ml QSP 50 ml	20 %	
	62 gtt 2,5 ml QSP 5 ml	125 gtt 5 ml QSP 10 ml	187 gtt 7,5 ml QSP 15 ml	375 gtt 15 ml QSP 30 ml	625 gtt 25 ml QSP 50 ml	50 %	

Tableau n°86 : Tableau de conversion entre les volumes, les huiles essentielles et la base végétale d'après Aromâge (32)

Par exemple, si je souhaite diluer mon huile essentielle à 10% dans un volume de 15 mL, il me faut : 37 gouttes (ce qui correspond à environ 1,5 mL, ceci dépend de la viscosité de l'huile essentielle) et 13,5 mL d'huile végétale. Une dilution de 10% correspond à une goutte d'huile essentielle et 9 gouttes d'huile végétale.

L'huile de cameline peut être cette base végétale, avec au choix une huile de cameline de qualité cosmétique ou alimentaire. Elle pénètre dans la peau assez rapidement. L'odeur de l'huile de cameline va s'estomper. Les huiles essentielles sont aromatiques et leurs odeurs vont couvrir celles des huiles végétales.

Dans le tableau suivant (tableau n°87) sont présentées d'autres huiles qui peuvent être utilisées à la place de l'huile de cameline. En fonction de l'endroit où l'on achète et de la qualité, l'huile de cameline est moins chère que d'autres huiles végétales. En moyenne, compter environ 9,30 € le flacon de 250 mL d'huile de cameline. Il est possible qu'avec son développement, elle trouve sa place sur le marché.

Nom du produit	1 ^{er} produit	2 ^{ème} produits	3 ^{ème} produits
Huile d'amande douce	Aroma zone, 100 ml → 7,50 €	Pranarom, 50 ml → 6,50 €	Ladrôme, 100 ml → 11,90 €
Huile d'argan	Aroma zone, 100 ml → 10,50 €	Pranarom, 50 ml → 8,95 €	Terraïa, 100 ml → 11,50 €
Huile de jojoba	Aroma zone, 100 ml → 8,50 €	Pranarom, 50 ml → 7,90 €	Onatera, 100 ml → 10,90 €
Huile de macadamia	Aroma zone, 100 ml → 4,50 €	Pranarom, 50 ml → 5,85 €	Vigean ,100 ml → 8,85 €
Huile de noisette	Aroma zone, 100 ml → 8,90 €	Pranarom, 50 ml → 7,50 €	Compagnie des sens, 100 ml → 9,40 €

Tableau n°87 : Comparaison de différents prix d'huiles végétales en 2018 par LS

L'huile de cameline peut être un support oral ou cutané comme vu précédemment. Les gélules peuvent être un support oral où les huiles essentielles sont directement mélangées avec l'huile de cameline. L'intérêt de ce système est qu'il n'y aura pas le goût des huiles essentielles.

La gamme Azeol AB et AF de chez Pileje[®] est conseillée pour stimuler les défenses immunitaires. Les deux références se présentent sous forme de gélules à avaler.

L'Azeol AB est composé d'huile de cameline et de quatre huiles essentielles (eucalyptus, cannelle, romarin et carotte). Il est conseillé soit en prévention, soit quand une primo-infection se développe.

L'Azeol AF est aussi à base d'huile de cameline, mais avec trois huiles essentielles (girofle, cannelle et carotte). Les deux produits ont la même posologie : deux capsules par jour pendant quinze jours ou six capsules par jour pendant cinq jours. Les capsules seront à prendre de préférence au cours du repas. L'Azéol AF est plutôt un antifongique et l'Azéol AB agit plus comme un antibiotique.

Le premier tableau indique la composition des capsules d'Azéol AB et le deuxième tableau correspond à la composition d'Azéol AF.

Composants	Teneurs (valeur moyenne pour les 6 capsules)
Huile de cameline (graines) <i>Camelina sativa</i>	1362 mg
Huile essentielle d'eucalyptus (feuilles) <i>Eucalyptus globulus</i>	54 mg
Huile essentielle de cannelle (écorces) <i>Cinnamomum verum</i>	54 mg
Huile essentielle de romarin (sommités fleuries) <i>Rosmarinus officinalis</i>	46 mg
Huile essentielle de carotte (graines) <i>Daucus carota</i>	16 mg

Tableau n°88 : Composition des capsules d'Azéol AB par LS

Composants	Teneurs (valeur moyenne pour les 6 capsules)
Huile de cameline (graines) <i>Camelina sativa</i>	1350 mg
Huile essentielle de girofle (clous) <i>Syzygium aromaticum</i>	54 mg
Huile essentielle de cannelle (écorces) <i>Cinnamomum verum</i>	54 mg
Huile essentielle de carotte (graines) <i>Daucus carota</i>	16 mg

Tableau n°89 : Composition des capsules d'Azéol AF par LS

La composition diffère par d'un côté la présence d'huile essentielle de romarin officinal et d'huile essentielle d'eucalyptus et de l'autre par la présence d'huile essentielle de giroflier. L'huile essentielle de romarin à cinéole a une activité fongicide efficace mais un pouvoir antibactérien moyen. L'huile essentielle d'eucalyptus globuleux est un excellent antiseptique respiratoire mais a un pouvoir antibactérien et antiparasitaire moyen. L'huile essentielle de girofle a une activité antibactérienne très puissante à large spectre d'action en plus d'être fongicide et parasiticide. L'huile essentielle de clou de girofle et l'huile essentielle de cannelle sont capables de détruire des souches de *Candida albicans*. Ces deux huiles essentielles vont fluidifier et ainsi dégrader la membrane de certains champignons.



Figure n°204 : Ancien et nouveau packaging de l'Azéol AB par LS

Depuis le début de l'année 2019, sur le site internet de Pileje®, il est possible d'obtenir de l'Azéol AB composé d'huile de cameline, d'huiles essentielles d'eucalyptus, d'huiles essentielles de cannelle, d'huiles essentielles de romarin et d'huiles essentielles de citron. Il en est de même pour l'Azéol AF. L'huile essentielle de carotte a été remplacée dans la même proportion par l'huile essentielle de citron (cf. figure n°204). La nouvelle version est disponible en officine depuis le courant de l'année 2019. Ce changement peut s'expliquer par plusieurs facteurs dont notamment : le prix (l'huile essentielle de carotte est plus chère que l'huile essentielle de citron) et sa disponibilité sur le marché qui est moindre par rapport au citron. L'huile essentielle de carotte va être stimulante et drainante de l'organisme. Elle est parfaite pour réaliser une détoxification tout comme l'huile essentielle de citron. Ce sont toutes les deux des huiles hépato protectrices. Elles sont nécessaires puisque l'huile essentielle de cannelle est une huile à phénols qui peut être irritante avec une prise par voie orale tout comme l'huile essentielle de giroflier. Les phénols sont des anti-infectieux qui vont détruire la membrane cellulaire.

(2) Qualités en tant que complément alimentaire

La cameline est utilisée dans les compléments alimentaires avec pour objectif le maintien d'une cholestérolémie normale (ex : Omégabiane cameline de chez Pileje®), pour préparer la peau au soleil (la gamme Oenobiol Solaire par exemple).

Omégabiane cameline est utilisée pour le maintien d'une cholestérolémie normale grâce à ses composants. Il est conseillé de prendre trois capsules par jour. Avec trois capsules, l'apport est de 1,5 g d'huile de cameline ce qui correspond à 378 mg d'acide

α -linoléique et 162 mg d'acide linoléique. Il est indispensable de l'associer à une alimentation équilibrée et une bonne hygiène de vie. Il est intéressant d'en parler avec son médecin traitant ou son nutritionniste pour avoir un suivi biologique et s'assurer qu'il n'y a pas besoin de mettre en place un traitement médicamenteux.

Le laboratoire Oenobiol® Paris utilise l'huile de cameline dans sa gamme solaire. Elle est retrouvée par exemple dans l'oenobiol® solaire intensif nutriprotection pour les peaux claires et dans l'oenobiol® solaire intensif capital anti-âge pour préserver son capital jeunesse. Prenons l'exemple du Solaire Intensif® Peau normale. C'est un complément alimentaire réservé aux adultes qui va préparer la peau au soleil et sublimer le bronzage. Attention, en aucun cas, il ne protégera des coups de soleil, il est indispensable d'utiliser une crème solaire avant toute exposition. Les capsules sont à commencer un mois avant l'exposition. Elles peuvent être continuée pendant un mois et jusqu'à un mois après au rythme d'une par jour. Au niveau des composants, il y a de l'huile de cameline, de la gélatine, de l'actilycopène® extrait de tomate, un agent d'enrobage (la glycérine), un émulsifiant (stéarate de glycérol), de la vitamine E d'origine végétale, du sélénite de sodium, un deuxième agent d'enrobage (le sorbitol), un extrait de tagètes et un colorant (l'oxyde de fer).

b) Cosmétologie

La directive européenne 76/768/CEE (101) relatives aux produits cosmétiques entend par produit cosmétique : « toute substance ou préparation destinée à être mise en contact avec les diverses parties superficielles du corps humain (épiderme, système pileux et capillaire, ongles, lèvres et organes génitaux externes) ou avec les dents et les muqueuses buccales, en vue exclusivement ou principalement de les nettoyer, de les parfumer et de les protéger afin de les maintenir en bon état, d'en modifier l'aspect ou de corriger les odeurs corporelles ».

Les huiles végétales possèdent un indice comédogène, il va de 0 (pas du tout comédogène) à 5 degrés (très comédogène). L'huile de cameline a un indice de 0. La figure suivante nous donne les indices pour différentes huiles végétales.

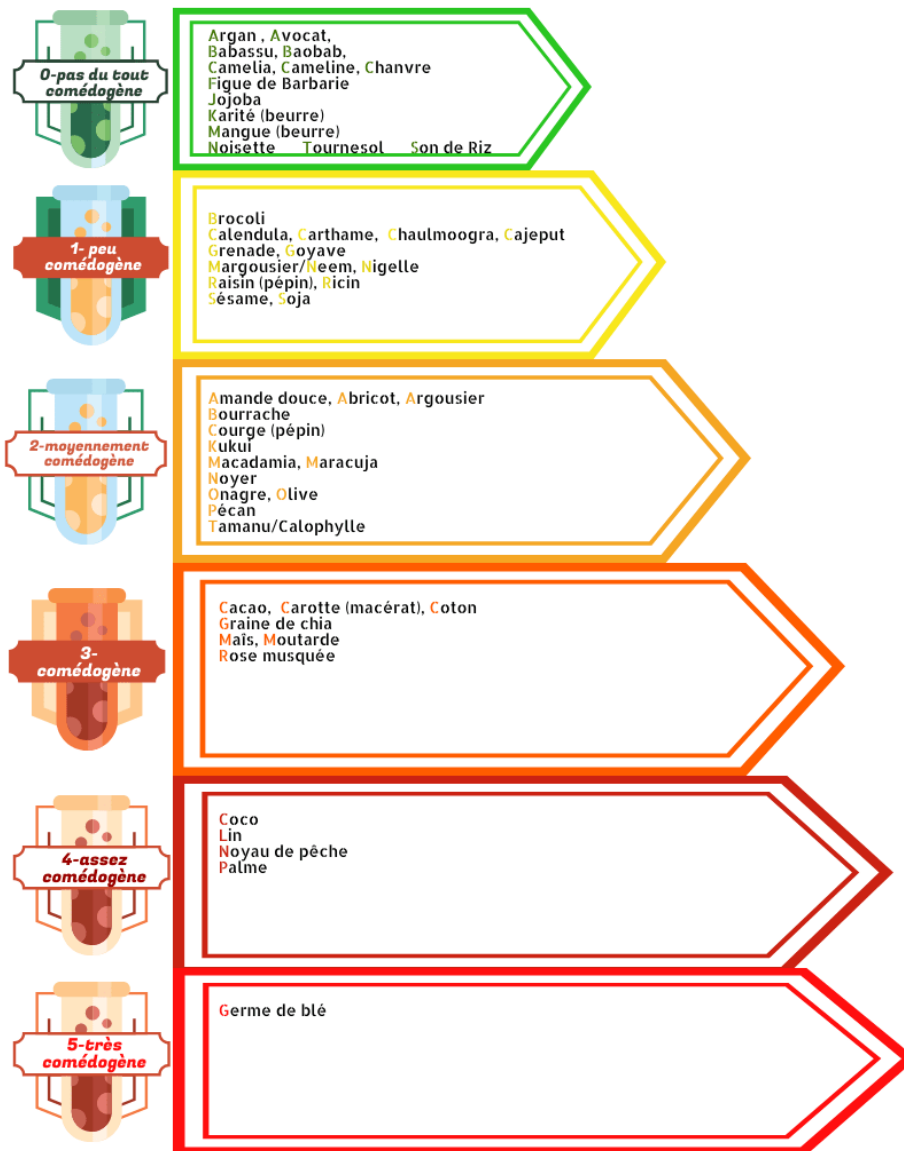


Figure n°205 : Les indices de comédogénéité des huiles végétales par un zeste vert (326)

Une huile comédogène va obstruer les pores de la peau ce qui va favoriser l'acné, les points noirs et les comédons. L'indice 0 et 1 est conseillé pour une personne avec une peau grasse et acnéique. Pour les peaux normales et mixtes, l'indice entre 0 et 3 est à privilégier. Enfin, les peaux sèches apprécient toutes les huiles. L'huile de cameline va donc être intéressante pour tous les types de peaux. Attention, toute huile rancie devient comédogène.

(1) Soin de la peau

L'huile de cameline pénètre rapidement au niveau de la peau sans laisser un film gras. Elle a des propriétés adoucissantes et assouplissantes qui vont apporter de l'élasticité à la peau. Les personnes avec une peau sensible l'utilisent pour son action apaisante et anti-

inflammatoire. Sa dernière utilisation dans les cosmétiques est liée à ses activités régénératrices et réparatrices pour lutter contre les rides. L'élasticité sera amenée par la présence des acides gras $\omega 3$ alors que les phytostérols vont renforcer la fermeté, calmer les inflammations et améliorer le processus de cicatrisation. La vitamine E va protéger des radicaux libres.

Alors qu'en 2017, il y avait seulement une ou deux marques sur le marché de l'huile de cameline, début 2021, elles sont nombreuses à l'avoir incorporé dans leurs gammes de produits. En exemple, l'huile de cameline de My Mira[®]. Le tableau ci-dessous nous montre quelques différences avec une huile de cameline à usage alimentaire.

	Huile de cameline cosmétique biologique pressée à froid (My Mira [®])	Huile de cameline alimentaire pressée à froid
Couleur	Jaune vif	Jaune vif
Odeur	Plus douce	Plus forte (+ près de l'asperge)
Durée de conservation	Sur le flacon : 4 mois après ouverture Fiche du produit : 3 mois après ouverture au frais, à l'abri de la lumière	3 mois après ouverture et conservation au réfrigérateur
Flacon	Flacon transparent	Conditionnement opaque
		

Tableau n°90 : Huile de cameline alimentaire versus huile de cameline cosmétique par LS

Pour cet exemple, ce qui me surprend est le manque d'information sur le flacon. Il est possible d'acheter cette huile sur différents sites internet mais sur certains, la fiche du produit ne contient pas les informations sur la luminosité ou sur le mode de conservation.

Pour les soins de peau, il existe des produits déjà prêts à l'emploi, ou alors, les personnes peuvent réaliser eux-mêmes leurs crèmes ou leurs huiles de soins. Je vais donner quelques exemples pour les deux catégories.

Pour le maquillage, le laboratoire Lavera® a toute une gamme avec de l'huile de cameline. Les produits Lavera® ne contiennent pas de conservateurs, pas de parfum... Ils sont à base d'huile, d'actifs et d'extrait végétal 100 % naturels, ceci leur permet d'être membre de l'organisation Natrue. Ils ont aussi le label bio® et vegan®. L'huile de cameline est présente principalement pour l'hydratation. L'envie d'avoir des produits naturels, biologiques permet à l'huile de cameline de s'intégrer dans les nouveaux produits de cosmétologie. Le domaine de la cosmétologie est un débouché important et la demande augmente puisque les produits naturels sont en vogue. Dans la gamme, il existe des fonds de teint avec une texture mousse ou liquide. Pour les yeux, il y a de nombreux fard à paupières avec différents choix de couleurs, des mascaras ou des eye-liners pour ceux qui préfèrent. Pour les lèvres, il propose des gloss. Certains produits de leurs gammes sont présentés sur la photo suivante.



Figure n°206 : Quelques produits lavera contenant de l'huile de cameline (photo LS)

L'huile précieuse à la rose noire de Sisley est une huile sèche de soin pour le visage avec des propriétés réparatrices, nourrissantes et anti-âge. Le soin est appliqué en premier lieu sur la peau nue. Le produit contient différents principes actifs comme l'extrait de *Padina pavonica*, l'extrait d'avocat, l'huile essentielle de Rose bulgare, l'huile essentielle de

Magnolia et l'huile essentielle de Géranium. Les différents ingrédients contiennent des phytosqualènes et des tocophérols qui vont agir sur les signes du vieillissement cutané. L'huile de prune qui est riche en AGPI $\omega 6$ va renforcer la barrière et améliorer la souplesse de la peau. L'huile de cameline va nourrir, apaiser et préserver l'équilibre lipidique de la peau. Les insaponifiables d'avocat vont régénérer, nourrir et apaiser. L'extrait de *Padina pavonica* est présent pour favoriser la synthèse des glycosaminoglycanes. La rose noire est émolliente et douce. L'huile essentielle de Rose bulgare tonifie, celle de magnolia apaise et celle de géranium purifie. Elle est à conseiller à nos patientes à partir de 30 ans seule ou en association avec d'autres crèmes. Elle peut être appliquée matin ou soir entre 3 et 7 gouttes en fonction de son type de peau.

Le laboratoire Elancyl a créé une huile de soin pour lutter contre les vergetures naissantes. Au niveau des composants, l'huile de cameline est présente pour l'élasticité et la souplesse de la peau, l'huile d'onagre pour la restructuration et l'huile de carthame pour la nutrition. Le produit a été testé lors d'une étude clinique sur 55 femmes enceintes primipares âgées de plus de 18 ans pendant 6 mois. Elles ont appliqué l'huile deux fois par jour (matin et soir) à partir du 3^{ème} mois de grossesse. Les résultats observés sont : à 2 mois après le début des applications, l'apparition de nouvelles vergetures est limitée. A 4 mois, les vergetures existantes sont moins visibles et à 7 mois (donc un mois après l'accouchement), une réduction des vergetures est visible chez 94 % des femmes.



Figure n°207 : Huile de soin vergetures
(photo LS)

L'huile de cameline est un atout pour tout le corps. Après avoir vu le visage et le corps, passons aux pieds.

Le produit suivant est l'un des seuls qui met en avant la présence de l'huile de cameline sur le packaging. Il s'agit du baume hydra-défense du laboratoire Akileïne®. Il est principalement composé de lipesters de soie, d'huile de cameline et de pépins de raisons et d'*Imperatacylindrica*. Il est indiqué pour les pieds très secs ou avec une déshydratation sévère. L'hydratation est assurée par la présence des deux huiles végétales. L'*Imperatacylindrica* (Poacées) permet de restaurer l'équilibre hydrique. Le produit s'applique une fois par jour en faisant un léger massage des pieds. L'hydratation se fera pendant vingt-quatre heures. La texture pénètre rapidement au niveau de la peau grâce au massage qu'il faut réaliser pendant une bonne minute environ. Le produit laisse la peau non grasse avec une légère odeur. Les lipesters de soie sont des molécules brevetées par le laboratoire avec une activité antifongique et antibactérienne. Le nom du produit « hydra-défense » vient des deux principes actifs écrits sur le flacon : l'huile de cameline pour l'hydratation et la défense avec la présence de lipesters de soie.



Figure n°208 : Baume hydra-défense
(photo LS)

L'huile de cameline est aussi présente dans les produits pour bébés comme avec la Klorane bébé crème nutritive pour les peaux sèches et très sèches. Elle peut être utilisée en cas de croûtes de lait. Il est conseillé de l'appliquer le soir sur les zones touchées et effectuer un shampoing doux le lendemain. Pour ce produit, l'huile de cameline n'est pas mise en avant, il faut lire la composition pour s'apercevoir de sa présence.



Figure n°209 : Crème nutritive (photo LS)

Nous allons maintenant voir des recettes de produits à réaliser soi-même. Dans le livre paru en 2017, *Phytothérapie : l'essentiel du bien-être au naturel* écrit par Boffelli Isabelle et Bruno Isabelle (53), il y a des recettes avec de l'huile de cameline pour réaliser soi-même une huile pour peaux sèches ou un masque embellisseur. Pour l'huile qui lutte contre la peau sèche, il faut verser dans un flacon :

- 20 mL d'huile de cameline
- 10 mL d'huile d'olive
- 6 gouttes d'huile essentielle de carotte
- 6 gouttes d'huile essentielle de lavande ou de rose

Pour obtenir un mélange homogène, l'agitation est nécessaire. Il faut laisser reposer la préparation quelques jours (entre 2 et 3 jours) avant de l'appliquer. Elle se conserve deux mois au réfrigérateur.

Extrait du grand guide de l'aromathérapie et des soins beautés naturels écrit par Maillard Aude qui est docteur en pharmacie (200), voici une recette pour une huile apaisante pour les peaux sensibles et irritées. C'est une recette pour 50 mL qui peut se conserver six mois. Il faut quatre ingrédients : l'huile végétale de cameline (2,5 cuillères à soupe), du macérat de calendula (2,5 cuillères à soupe), de l'huile essentielle de lavande aspic (25 gouttes) et de l'huile essentielle de camomille romaine (4 gouttes). Il faut mélanger tous les ingrédients et c'est prêt. L'huile s'applique doucement sur les zones touchées.

Parmi les différents mélanges proposés, il y a des similitudes. Les huiles végétales sont présentes pour hydrater et adoucir la peau. Les huiles essentielles vont être choisies en fonction de leurs propriétés, mais aussi de leurs odeurs.

Nous pouvons retrouver dans certains instituts de beauté, des soins avec de l'huile de cameline. Par exemple l'atelier des délices® propose un soin d'une heure pour le visage pour les peaux sensibles ou réactives avec une gamme de huit produits différents, tous avec de l'huile de cameline. Le but de ce soin est d'apaiser, d'améliorer le confort et la souplesse de la peau. Tout ceci nous montre le grand potentiel de cette huile en cosmétologie.

(2) Soin des cheveux

En plus de nourrir la peau, l'huile de cameline est aussi utilisée pour le soin des cheveux. Elle nourrit, protège et apporte la brillance aux cheveux (et plus particulièrement à la fibre capillaire). Elle sert aussi pour éviter les frisottis qu'ils soient naturels ou dû à un air trop humide grâce à ses propriétés lissantes.

Il existe des produits prêts à l'emploi tels que des shampoings, des après-shampoings, des masques. Il existe aussi des produits que l'on peut réaliser facilement chez soi. Dans un premier temps, nous allons voir quelques produits déjà faits et dans un deuxième temps, quelques exemples de réalisations de produits à réaliser chez soi avec de l'huile de cameline seront donnés.

Parmi les shampoings prêts à l'emploi, il y a par exemple celui de la marque Furterer de la gamme absolue kératine.

C'est un shampoing qui a été développé pour les cheveux abîmés et/ou cassants. Parmi les composants, trois actifs sont d'origine naturelle : la kératine végétale pour reconstruire le squelette du cheveu, la biocymentine pour renforcer la structure interne du cheveu et de l'huile de cameline pour nourrir les cheveux.



*Figure n°210 : Shampoing absolue kératine
(photo LS)*

Le tableau suivant (tableau n°91) présente le début de la composition d'un shampoing ainsi que le rôle des ingrédients. Les règles de l'étiquetage et les exigences européennes sont réunies dans l'article 6 de la directive européenne 76/768/CEE (101). Les molécules sont nommées en anglais (nom international des ingrédients) et apparaissent par ordre décroissant de quantité sauf pour les ingrédients avec une concentration inférieure à 1 % qui peuvent être mentionnés dans le désordre après les composants ayant une concentration supérieure à 1 %. En ce qui concerne les allergènes, ils apparaissent à la fin de liste s'ils font partie de la liste internationale des 24 allergènes (Annexe n°4).

Ingrédients	Rôle	Ingrédients	Rôle
Water / Eau	Solvant	Alpha-isomethyl ionone	Parfum
Sodium Lauroyl Sarcosinate	Tensio-actif	Arginine HCL	Agent d'entretien de la peau, humectant
Lauryl Betaine	Tensio-actif	Ascorbyl palmitate	Antioxydant
Decyl glucoside	Tensio-actif	Camelina sativa seed oil / huile de cameline	Emollient
PEG-40 hydrogenated castor oil	Tensio-actif	Citric acid	Ajusteur de pH
Acrylates copolymer	Epaississant	Coco-glucoside	Tensio-actif
Polyquaternium 22	Polymère conditionneur	Fragrance	Parfum
Ceteareth-60 myristyl glycol	Tensio-actif, émollient	.... Reste encore une vingtaine d'ingrédients	Colorant, conservateur....

Tableau n°91 : Description de l'étiquette d'un shampoing de la gamme absolue kératine par LS

En règle générale, un bon shampoing est constitué de 85 à 90 % d'eau, d'un détergent (tensio-actif qui peut avoir plusieurs fonctions), un viscosifiant (pour une utilisation facile) et des additifs. Les tensio-actifs vont aider à enlever les salissures, favoriser la formation de mousse et d'une émulsion entre deux liquides.

Cette composition étant très longue et avec des noms de composés parfois inconnus, ceci pouvant faire peur. Certaines personnes ont donc décidé de concevoir eux-mêmes leurs produits de beauté pour savoir exactement ce qu'il y a à l'intérieur et avoir une composition plus saine. De plus, il y a la satisfaction de l'avoir réalisé soi-même.

Ce propos va être illustré avec deux exemples de recettes avec un nombre d'ingrédients moindre (une brume apaisante pour le cuir chevelu et un sérum protecteur pour les cheveux colorés).

Dans le grand guide de l'aromathérapie et des soins beauté naturels (200) sorti en 2016, il y a une brume apaisante pour le cuir chevelu irrité et un sérum protecteur des cheveux colorés. Pour le sérum, c'est une recette de 50 mL qui se conserve six mois. Il faut :

- 5 cuillères à soupe d'huile végétale de cameline,
- 25 gouttes d'huiles essentielles de litsée citronnée,
- 15 gouttes d'huiles essentielles de Petitgrain bigarade.

Tous les principes actifs sont mélangés puis l'ensemble est inséré dans le flacon. L'utilisation est très simple, le sérum s'applique sur l'ensemble de la chevelure après le shampoing. Il ne se rince pas.

Pour la brume apaisante, il faut trois composants :

- 2 cuillères à soupe d'hydrolat de tilleul,
- 1 cuillère à soupe d'huile végétale de germes de blé,
- 1 cuillère à café d'huile végétale de cameline.

Tous les ingrédients sont mélangés puis insérés dans un vaporisateur. La brume se conserve un mois au réfrigérateur. Il faut agiter avant chaque emploi, vaporiser sur le cuir chevelu, masser et laisser poser quinze minutes avant de le laver avec un shampoing doux.

c) Alimentation

L'huile de cameline a un goût qui fait penser un peu à l'asperge ou à la noisette. Elle peut être utilisée pour agrémenter de la salade, un plat de crudités, des légumes verts ou même des pâtes. Elle est de plus en plus recommandée dans l'alimentation, mais son prix reste un frein. Au début de l'année 2018, l'huile de cameline ne se trouvait pas dans les grandes surfaces ou les hypermarchés classiques. Elle était disponible dans de nombreux magasins spécialisés dans le bio ou dans les produits naturels. Elle est aussi en vente sur différents sites internet d'huileries. Depuis début juin 2020, elle est apparue dans certaines grandes surfaces.



Figure n°211 : Exemple d'huile de cameline vendue en magasins biologique (photo LS)


La photo ci-dessus présente trois bouteilles d'huile de cameline disponibles à la vente. Elles sont en verre opaque pour protéger l'huile de cameline de la lumière.

En fonction des besoins, elle est disponible en bouteille de 250 mL ou de 500 mL. La taille la plus répandue est celle de 250 mL. La bouteille de 500 mL provient de l'entreprise normande Terre et Nature du Bessin de M. Dupin Guillaume. Il y a une production d'huile de tournesol, de cameline, de colza et d'olive. Récemment, l'entreprise a sorti un mélange de quatre huiles pour l'assaisonnement avec 40 % de l'huile de colza, 30 % d'huile de cameline, 20 % d'huile d'olive et 10 % d'huile de tournesol. Avant de trouver le bon mélange, il y a eu des essais pour trouver le bon goût. Cette composition a un goût plus léger que l'huile de cameline pure et aussi un prix plus bas.

De nombreux producteurs français vendent leurs produits sur les marchés locaux, dans des magasins biologiques ou directement à la ferme. En août 2018, un agriculteur

breton a installé près de sa ferme à Combrit des distributeurs automatiques accessibles 24 h sur 24 et sept jours sur sept où l'on trouve de l'huile de cameline. Le but est de pouvoir proposer les huiles à un nouveau public.

Les industriels ont aussi créé des mélanges d'huiles prêtes à consommer pour avoir les qualités de plusieurs huiles.

 Chez Bio Planète®, il y a l'huile oméga + qui contient cinq huiles : le tournesol oléique, le colza, l'olive, la cameline et le sésame.


 Chez Vigean®, il propose l'olive cameline avec 70 % d'huile d'olive pour les acides gras $\omega 9$ et 30 % d'huile de cameline pour l'acide gras $\omega 3$. En fonction de la personne et de son âge, il existe différents mélanges.



Figure n°212 : Les différents mélanges avec de l'huile de cameline proposés chez Vigean® (photo LS)

Trois différentes huiles essences & vie sont proposées :

- ✓ Celle pour les enfants et les adolescents = 16 % d'huile de cameline, 48 % d'huile de tournesol, 32 % d'huile de colza et 4 % d'huile de chanvre
- ✓ Celle pour les mamans et les femmes actives = 15 % d'huile de cameline, 50% d'huile de colza, 25 % d'huile de tournesol et 10 % d'huile de bourrache.
- ✓ Celle pour les hommes de 50 ans et plus = 28 % d'huile de cameline, 47 % d'huile de pépins de courge, 13 % d'huile d'olive et 12 % d'huile de colza.

La teneur en AG présentée dans le tableau ci-dessous est donnée pour une cuillère à soupe.

	Mélange Olive / Cameline	Enfants et Adolescents	Mamans et Femmes actives	Hommes de 50 ans et plus
Acide oléique (AG ω 9)	5,67 g	3,15 g	3,98 g	3,22 g
Acide linoléique (AG ω 6)	1,15 g	4,55 g	3,39 g	3,49 g
Acide α -linoléique (AG ω 3)	1,12 g	0,88 g	0,94 g	1,04 g

Tableau n°92 : La composition des principaux acides gras de différents mélanges d'huiles par LS

Pour les enfants, les AGPI ω 6 sont privilégiés. Pour les femmes actives, on va s'orienter vers une teneur plus importante en acide oléique et donc en AG ω 9. Pour les hommes matures, l'huile est assez équilibrée. Avec le mélange olive / cameline, la richesse en AG ω 9 de l'huile d'olive est retrouvée ainsi que la teneur importante en AG ω 3 de l'huile de cameline (teneur moins importante car l'huile est présente à seulement 30 %). Ceci reste assez théorique puisque dans la vie de tous les jours, chaque membre de la famille ne pas avoir sa propre huile.

(1) Propriétés nutritionnelles et diététiques de l'huile de cameline

Ces propriétés sont dues principalement à son taux élevé d'AGPI ω 3. Nous allons aborder le thème des maladies cardiovasculaires. D'après le ministère de la Santé, les maladies cardiovasculaires sont la deuxième cause de mortalité en France et la première chez les femmes dans le monde (cf. figure suivante).

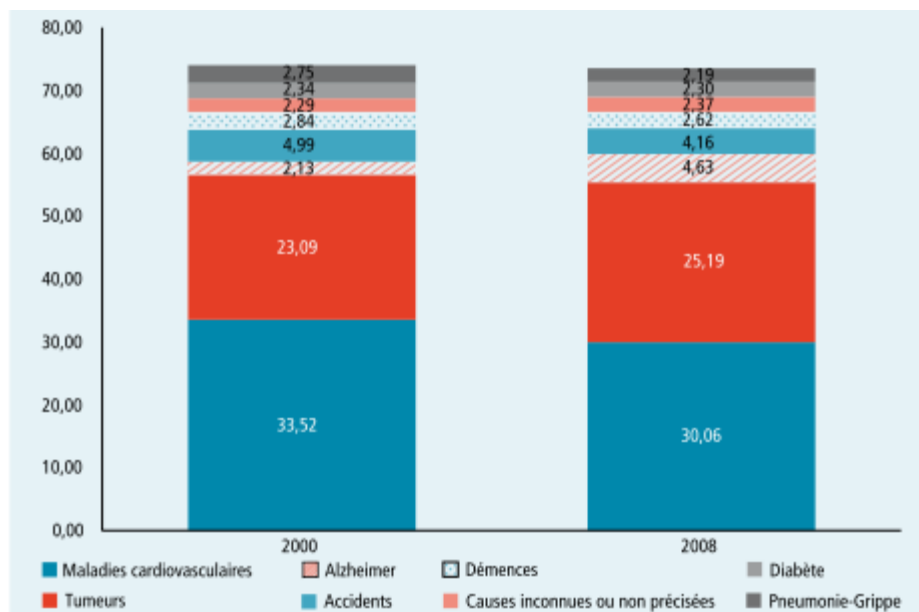


Figure n°213 : Evolution de la part des causes de décès chez les femmes entre 2000 et 2008 en France (31)

Cette figure extraite du bulletin épidémiologique hebdomadaire n°22 (31) nous montre que la part de décès chez les femmes à cause des maladies cardiovasculaires a diminué entre 2000 et 2008 (de 33,52 à 30,06) mais reste la principale cause de décès. Chez les hommes, la première cause est le cancer.

La prévention des maladies cardiovasculaires devenant un problème de santé publique, de nombreux chercheurs se sont attachés à démontrer l'effet cardioprotecteur des AG ω 3. Plusieurs études ont montré l'importance de ces ω 3 comme :

- L'étude DART (*Diet And Reinfarction Trial*) (60) a été réalisée en 1989.

Elle s'est portée sur plus de 2000 hommes de moins de 70 ans ayant survécu à un infarctus du myocarde. Les patients ont été suivis durant 2 ans avec pour consigne diététique soit un régime pauvre en graisses avec augmentation du rapport graisses insaturés/saturés soit un régime riche en poisson gras soit un régime enrichi en fibres. Certains ont reçu des suppléments d'EPA (C20 : 5) et de DHA (C22 : 6). Une diminution significative de la mortalité globale de 29 % a été constatée chez les patients ayant consommé plus de poisson gras. Une étude DART II a été réalisée mais à la suite de nombreuses erreurs méthodologiques, les résultats se sont révélés non-concluants.

- L'étude GISSI (groupe italien pour l'étude de la survie après un infarctus) a été publiée en 1999 et 2002 (132 et 204).

Elle a été réalisée sur plus de 11 000 patients ayant eu un infarctus du myocarde datant de moins de trois mois. Ils ont été tirés au sort pour savoir qui recevraient les capsules d'huile de poisson concentrée avec environ 1 gramme d'EPA+DHA (850 mg d'éthyl ester d'EPA-DHA). Après trois ans et demi de suivi, les résultats ont montré que les AG ω 3 avaient réduit la mortalité de 20 %, la mortalité cardiaque de 30 % et la mortalité subite (par troubles du rythme ventriculaire) de 45 %. Il n'y a pas eu de différence sur le taux de base pour le cholestérol total, le HDL-cholestérol, le LDL-cholestérol, la glycémie et le fibrinogène.

- L'étude JELIS (*Japan Eicosapentaenoic acid and Lipid Intervention Study*) (323) s'est, quant à elle, déroulée au Japon.

Elle comportait 18 645 volontaires avec pour certains, un traitement par une statine seule et pour les autres, un traitement associant statine et EPA (1,8 g/j sous forme de capsule). Les résultats ont été publiés en 2007. Le but est d'évaluer l'intérêt des AG ω 3 associés à une statine. Le résultat est une diminution de 19 % des événements coronaires majeurs tels que les infarctus ou l'angor instable chez les personnes ayant reçu l'EPA. Il faut distinguer des sous-groupes puisque certains patients étaient en prévention primaire et d'autres en secondaire. En prévention primaire, les écarts ne sont pas significatifs. En revanche, pour la prévention secondaire (patients coronariens à l'inclusion dans l'étude), le bénéfice en lien avec la supplémentation en AG ω 3 est indéniable.

Voici un tableau extrait de l'article écrit par Dallongeville qui récapitule les études citées ci-dessus (91).

	DART	GISSI	JELIS
Effectif (n)	2 033	11 300	18 645
Genre	Hommes et femmes	Hommes et femmes	Hommes et femmes
Inclusion	Infarctus	Infarctus	Hypercholestérolémie
Age (ans)	< 70		40 -75
Intervention	200 à 400 g de poisson par semaine	850 mg EPA/DHA	1,8 g par jour d'EPA
Critère de jugement	Décès et cardiopathie	Décès, infarctus et AVC	Mort subite, infarctus, syndrome coronaire aigu, revascularisation
Suivi (ans)	2	3,5	4,6

Tableau n°93 : Récapitulatif des études DART, GISSI et JELIS par Dallongeville (91)

- L'étude de Lyon (*Lyon Diet Heart Study*) date de 1994 (93).

Elle est composée de deux groupes de patients en prévention secondaire. Un groupe a suivi un régime que les chercheurs ont qualifié de « méditerranéen » (moins de produits animaux types charcuterie, plus de fruits et légumes, le beurre a été remplacé par de la margarine à base de colza). Une des nombreuses critiques est le fait que les patients n'ont pas suivi le « vrai » régime méditerranéen puisqu'il été conseillé d'avoir un fort taux d'acide α -linoléique d'origine végétale. L'huile d'olive n'ayant pas sa place dans le régime proposé. Le deuxième groupe a conservé son alimentation classique. Les résultats définitifs datent de 1999 et sont très étonnants.

Groupe « Régime méditerranéen » ou « diète méditerranéenne »

Constatations	% de réduction
Décès pour cause cardiovasculaire	81%
Infarctus non mortels	71%
Ensemble « angor instable + insuffisance cardiaque + AVC + embolies »	76%
Ensemble des décès toute cause	60%

Tableau n°94 : Les résultats pour le groupe « diète méditerranéenne » lors de l'étude de Lyon (93)

Les patients n'ont signalé aucun effet secondaire, mais plutôt une amélioration de leur qualité de vie. Cette étude a été beaucoup critiquée. Certains parlent d'une durée réelle de 27 mois (date des premières publications alors que l'essai n'était pas encore fini), le taux de cholestérol global était similaire dans les deux groupes (pour certains scientifiques, il n'est pas possible de réduire le risque de maladie cardio-vasculaire sans réduire le taux de cholestérol). La principale critique reste sur la définition du « régime méditerranéen ».

Les nombreuses études scientifiques ont permis à l'AHA (*American Heart Association*) de publier en 2003 des recommandations. Pour une personne sans atteinte coronarienne, il faut manger du poisson gras deux fois par semaine et consommer des huiles riches en acide α -linoléique. Pour un patient porteur d'une pathologie coronarienne, il faut un gramme par jour d'un mélange EPA/DHA. Enfin, pour les patients hypertriglycéridémiques, la recommandation est de 2 à 4 grammes d'EPA/DHA. Une nouvelle question est née concernant la qualité du poisson gras (élevage, les poissons absorbent des polluants comme le mercure...). Comme nous allons l'étudier plus tard, la composition d'un poisson gras varie énormément et il est parfois plus riche en AGPI ω 6 qu'en AGPI ω 3 d'où un intérêt qui se développe vers les huiles végétales et notamment celles qui sont riches en AG ω 3 comme l'huile de cameline.

Cependant, des études récentes remettent en doute les conclusions et amènent de nouvelles questions. Les résultats de la méta-analyse Cochrane viennent d'être publiés (fin 2018) (179). Les chercheurs se sont intéressés à 79 essais cliniques randomisés soit plus de

112 000 patients. La durée des essais allait de 12 à 72 mois. Les résultats sont donnés dans le tableau suivant.

	RR	IC 95	Nombre de participants	Nombre de décès / évènements
Mortalité toute cause	1,01	0,84 – 1,20	19 327	459
Mortalité cardiovasculaire	0,96	0,74 – 1,25	18 619	219
Mortalité par accident coronariens	0,95	0,72 – 1,26	18 353	193
Accidents coronariens	1,00	0,80 – 1,22	19 061	397
Accidents cardiovasculaires	0,95	0,83 – 1,07	19 327	884
Arythmies	0,79	0,57 – 1,10	4 837	141
AVC	Effets non mesurables du fait de la mauvaise qualité des études concernées			

Tableau n°95 : Effets de la supplémentation en ALA sur le risque cardiovasculaire dans la méta-analyse Cochrane d'après Korsia-Meffre (179)

Les données ont montré qu'il y a une faible réduction du risque d'accidents cardiovasculaire et d'arythmie cardiaque avec un enrichissement de l'alimentation en acide α -linoléique. La supplémentation en DHA/EPA n'a montré aucune réduction du risque cardiovasculaire.

Une seconde étude récente de 2019 de Manson *et al.* (202) a suivi 25 000 personnes pendant 5 ans pour connaître l'impact des AG ω 3 sur la prévention des maladies cardiovasculaires (prévention primaire) et des cancers. Les sujets ont reçu soit 1 gramme d'AG ω 3 d'origine marine soit un placebo. Elle a été réalisée aux Etats-Unis chez des hommes de minimum 50 ans et de 55 ans pour les femmes. La supplémentation d'1 g par jour d'huile de poisson n'a pas amélioré le pronostic dans cette population. Les graphiques suivants illustrent ce propos.

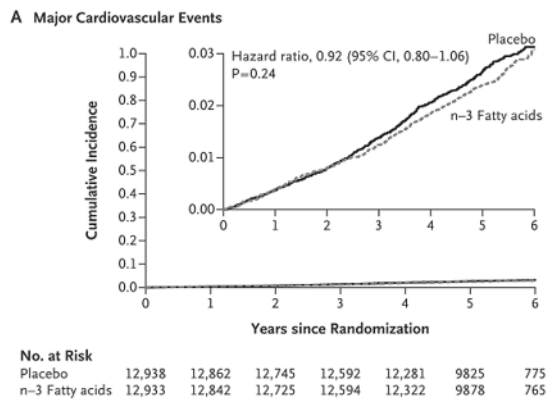


Figure n°214 : Taux d'incidence cumulatifs d'événements cardiovasculaires majeurs selon l'année de suivi dans le groupe n-3 et le groupe placebo par Manson et al. (202)

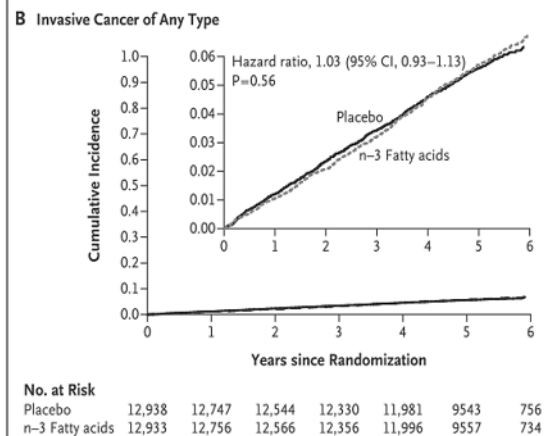


Figure n°215 : Taux d'incidence cumulatifs des cancers invasifs de tout type, selon l'année de suivi dans le groupe n-3 et le groupe placebo par Manson et al. (202)

Les deux courbes sont très proches, il n'y a aucune différence significative. Cependant, dans le sous-groupe des personnes consommant peu de poisson, on note une incidence plus faible avec une supplémentation en AG ω 3.

Une étude est sortie en 2017 dans le journal *Molecular Nutrition & Food Research* réalisée par Schwab *et al.* (263) chez des personnes ayant des troubles d'assimilation du glucose. Son but est de savoir si une source d'ALA végétale a des effets différents sur le profil lipidique, sur le métabolisme du glucose et sur les marqueurs inflammatoires. Les 79 volontaires âgés de 43 à 72 ans souffrant d'obésité et d'hypoglycémie à jeun ont été séparés en 4 groupes avec des recommandations différentes :

- Le groupe CSO (*Camelina Sativa* Oil ou huile de cameline) : 30 ml d'huile par jour avec autorisation d'un repas de poisson par semaine
- Le groupe LF (*Lean Fish* ou poisson maigre) : quatre repas de poisson par semaine mais plutôt du lieu noir, brochet ou morue
- Le groupe FF (*Fatty fish* ou poisson gras) : quatre repas de poisson par semaine type saumon ou truite
- Le groupe contrôle

Les groupes ont été suivis pendant douze semaines. Les groupes FF, LF et contrôle n'étaient pas autorisés à utiliser des huiles végétales riches en ALA. Pour aider les personnes à suivre les consignes, les scientifiques leur ont demandé de tenir un registre de leurs repas

(ceci leur permet de voir si les gens respectent le programme en plus du suivi à l'aide d'un marqueur biologique). Les résultats sanguins nous indiquent une hausse de la teneur en AG ω 3 dans le groupe poisson gras et une augmentation de la teneur en ALA dans le groupe huile de cameline. Les autres résultats sont présentés sous forme de figures.

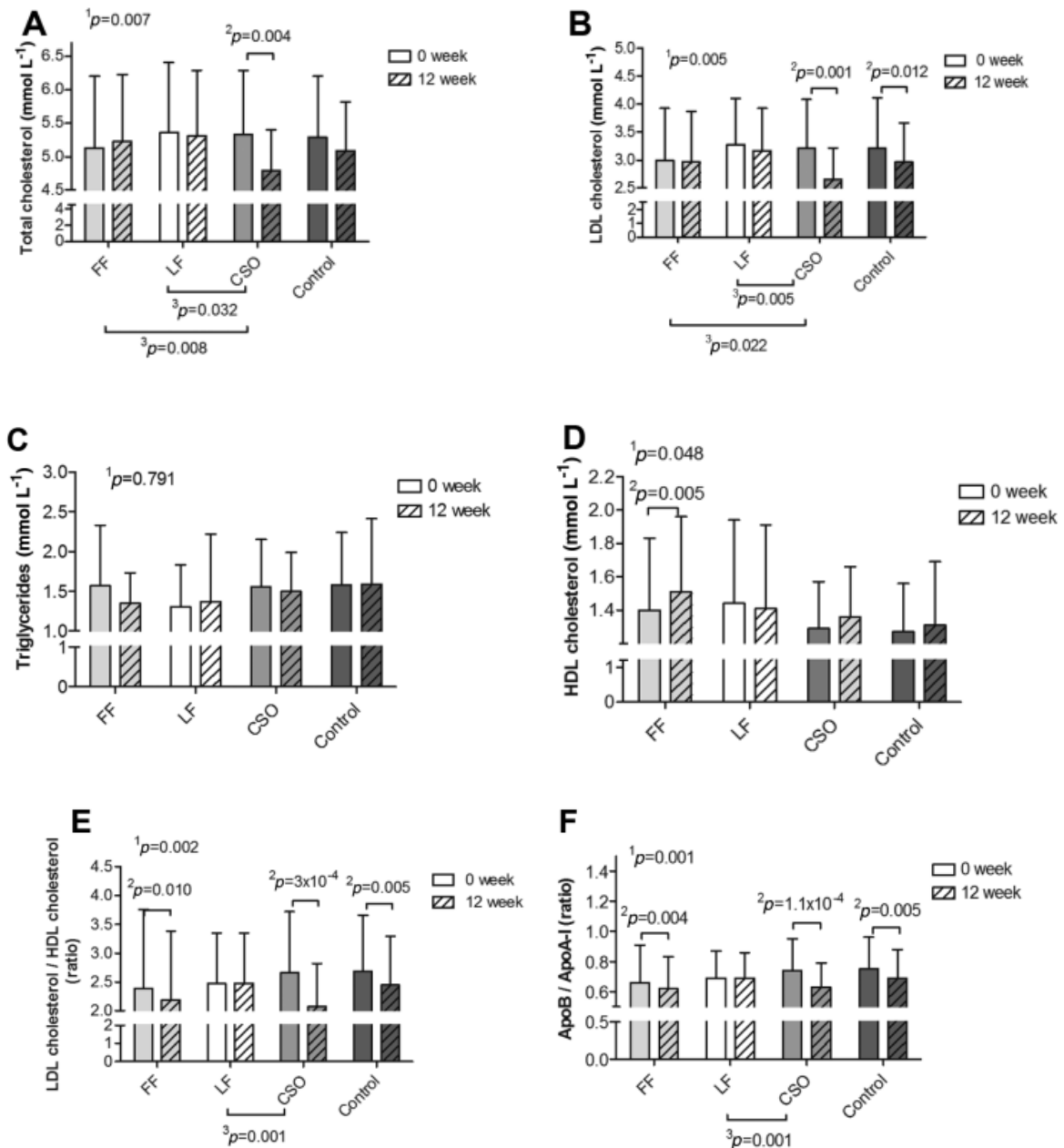


Figure n°216 : Les différentes modifications du profil lipidique en fonction des quatre groupes par Schwab et al. (263)

En ce qui concerne les résultats, il y a eu une augmentation significative du taux d'ALA dans le groupe CSO par rapport aux autres. Le taux d'EPA et de DHA a augmenté

significativement dans le groupe FF par rapport aux autres groupes. Les résultats significatifs pour le profil lipidique sont listés ci-dessous.

- Cholestérol total (A) : le groupe CSO a diminué par rapport au groupe FF et LF
- LDL-cholestérol (B) : le groupe CSO a diminué par rapport au groupe FF et LF
- Triglycérides (C) : pas de changement
- HDL-cholestérol (D) : pas de changement
- Rapport LDL/HDL (E) : le groupe CSO a diminué par rapport au groupe LF
- Rapport ApoB/ApoA (F) : le groupe CSO a diminué par rapport au groupe LF

Pour le profil lipidique, il est meilleur avec le groupe « huile de cameline » par rapport aux groupes qui ont mangé du poisson. Pour le cholestérol total, le LDL-cholestérol, le rapport LDL/HDL et le rapport ApoB/ApoA, il y a une différence significative entre les valeurs du début et les valeurs après l'expérience dans le groupe CSO. Ceci nous montre qu'une consommation quotidienne d'huile de cameline permet de réduire ces paramètres en seulement 3 mois. Le régime alimentaire a donc une place cruciale. Il n'y a aucune différence au niveau des concentrations plasmatiques de glucose ou d'insuline quel que soit le moment. Le suivi des marqueurs de l'inflammation n'a montré aucune différence.

L'étude de Karvonen Henna *et al.* (174) de 2002 a pour objectif de suivre les effets de l'huile de cameline sur les lipides sériques et sur la composition en acides gras des lipides totaux en comparaison avec l'huile de colza et l'huile d'olive. L'étude a été réalisée en Finlande en double aveugle avec 68 personnes hypercholestérolémiques âgées entre 28 et 65 ans. L'effectif a été divisé en trois groupes au hasard avec un apport quotidien d'environ 30 g d'huile pendant 6 semaines. Au début, les personnes devaient avoir une concentration de cholestérol total entre 5 et 8 mmol/L, un taux de triglycérides inférieur à 3 mmol/L et ne pas prendre de médicaments hypolipidémiants. Les résultats ont montré une diminution significative dans les trois groupes du cholestérol total et du taux de LDL.

En revanche du fait de la composition différente des huiles, on note que :

- L'ALA, acide α -linoléique, est plus important dans le groupe « huile de cameline ».
- Le taux d'acide oléique a diminué dans le groupe cameline mais a augmenté dans le groupe « huile d'olive ».

- La proportion d'AL, acide linoléique, a augmenté dans le groupe « huile de colza ».

Cette étude nous indique que l'huile de cameline peut être intéressante si les personnes ont besoin d'augmenter leur taux d'ALA (acide α -linoléique), d'EPA (acide eicosapentaénoïque) et de DHA (acide docosapentaénoïque) ou simplement de diminuer leur taux de cholestérol. Elle nous montre l'importance de choisir son huile en fonction notamment de nos paramètres lipidiques et de nos pathologies.

Il existe des études sur les potentiels effets des AG ω 3 sur la maladie d'Alzheimer, sur la polyarthrite rhumatoïde ou sur la dépression nerveuse. Les résultats divergent énormément et aucun consensus scientifique a été trouvé pour le moment, les études continuent.

(2) Quelques recettes avec de l'huile de cameline

L'huile de cameline peut être incorporée dans de nombreuses recettes. Elle peut être utilisée lors de l'apéritif, pour des entrées ou pour des plats. Nous allons découvrir quelques recettes. Les ingrédients qui apparaîtront en *italique* correspondent aux modifications de la recette originale par rapport à la photo.

Pour l'apéritif, Welter Marc propose un beurre de sardine (318) à disposer sur des toasts. Pour les ingrédients :

- 2 boîtes de sardines
- 100 à 180 g de beurre végétal (*100 g de beurre classique*)
- 1 à 2 cuillères à soupe de jus de citron
- 2 pincées de sel
- Un filet d'huile de cameline
- Poivre

Les sardines sont émiettées avec le sel et le jus de citron dans un bol. Le tout est mélangé. Le beurre est coupé en petit carré avant de l'incorporer au mélange. Ensuite, l'huile de cameline et le poivre sont inclus. Le bol va aller au réfrigérateur pendant 20 à 30 minutes. Il reste qu'à préparer les toasts.



Figure n°217 : Beurre de sardine (photo LS)

Lors de l'entrée, il est possible de réaliser une salade de courgettes crues à l'huile de cameline proposée par Gourmandine Agen (135) ou des fonds d'artichaut frais, œufs pochés et crème de ciboulette de l'huilerie Emile Noël (156).

Salade de courgettes crues

Ingrédients

½ citron

Sel

Filets de thon au naturel

1 tomate

1 courgette

Huile de cameline

Mâche

Préparation

Il faut découper la courgette et la tomate en petits cubes. Puis, le jus de citron, l'huile de cameline et le sel sont ajoutés. Le tout va au réfrigérateur pendant une heure. On sert sur un lit de mâche accompagné d'un filet de thon

Fonds d'artichaut frais, œufs pochés et

crème de ciboulette

Ingrédients

4 fonds d'artichaut

4 œufs

1 bouquet de ciboulette

4 c à s d'huile de cameline

10 cl d'huile d'olive

250 g de crème

8 cl de vinaigre de cidre

100 g de farine

50 g de beurre

Sel, poivre, jus de citron

Préparation

Dans une casserole avec un litre d'eau ajoutez la farine, salez et poivrez. Ajoutez le beurre et l'huile d'olive. 10 min après l'ébullition, incorporez les fonds d'artichauts.

Pour la crème : versez le vinaigre de



Figure n°218 : Salade de courgettes crues (photo LS)

cidre sur la crème tout en remuant. Salez, poivrez et ajoutez la ciboulette. Mettre au réfrigérateur

Au moment de servir : pochez les œufs (3 min dans de l'eau frémissante avec 2 c à s de vinaigre). Passez-les dans un saladier d'eau froide.

Pour le dressage : sur chaque fond d'artichaut, versez une c à s d'huile de cameline. Posez l'œuf poché, poivrez et recouvrez d'une cuillère de la crème préparée.



Figure n°219 : Fonds d'artichaut frais, œufs pochés et crème de ciboulette (photo LS)

Pour accompagner une viande, des patates douces rôties peuvent être proposées (199). Pour cela, il nous faut d'après le magazine Ricardo :

- 1 kg de patates douces, non pelées, lavées et coupées en fins quartiers
- une huile pour la cuisson
- 6 oignons émincés
- 10 g de coriandre fraîche, ciselée
- 3 c à s de graines de tournesol
- 50 g de roquette (50 g de mâche)
- 3 c à s d'huile de cameline

Une fois tous les ingrédients réunis, il faut préchauffer le four à 200 °C et répartir sur la plaque de cuisson les quartiers de patates douces, enrobées d'huile de cuisson. Saler et

poivrer. La cuisson dure 30 minutes, puis les oignons, la coriandre et les graines de tournesol sont ajoutés, et la cuisson est prolongée de 5 minutes. Au moment de servir, la mâche et l'huile de cameline sont disposées.



Figure n°220 : Patates douces rôties (photo LS)

d) Les biocarburants

Nous allons voir quelle est la place de la cameline dans le domaine des biocarburants. L'huile de cameline non raffinée a une durée de conservation de 12 à 24 mois ce qui est plus long que d'autres huiles (RBD : huile raffinée, blanchie et désodorisée) qui elles se conservent de 6 à 9 mois en général. Cette différence s'explique par la présence plus importante des tocophérols.

Le biodiesel à base d'huile de cameline s'est développé principalement en Amérique du Nord. Ce biodiesel est similaire à celui obtenu avec l'huile de soja. L'inconvénient du biodiesel à base d'huile de cameline (et de la majorité des biodiesels) est la nécessité d'ajouter des additifs antioxydants pour répondre aux normes.

L'objectif de cette étude de Moser et Vaughn (217) de 2010 est d'évaluer les esters alkyls de l'huile de cameline en tant que biodiesel et dans les mélanges avec une faible teneur en soufre. L'huile possède des esters méthyliques (CSME) et des esters éthyliques (CSEE) qui ont une faible stabilité par rapport aux esters méthyliques de l'huile de palme (PME). L'indice de stabilité de l'huile a été déterminé à 110 °C selon la méthode de Rancimat. Le temps est de 2,5 heures pour les CSME, de 2,9 heures pour les CSEE alors que pour le PME, c'est de 10,3 heures d'où un ajout d'antioxydant nécessaire si l'huile est seule.

Il est possible de ne pas faire cet ajout si elle est mélangée avec des huiles plus résistantes à l'oxydation. Un autre point important est l'indice d'iode : il est de 151 pour CSME, de 144 pour CSEE et de 54 pour PME. La norme EN 14214 a instauré une limite maximale de 120, mais il n'y a pas de limite pour la norme ASTM D6751. Dans les pays où la norme EN 14214 s'applique, l'huile de cameline sera mélangée avec d'autres huiles avec un indice d'iode plus faible. En revanche, la viscosité cinématique, l'indice d'acide, DCN (l'indice de cétane dérivé), les tensions superficielles de CSME et CSEE, l'onctuosité, les teneurs en soufre et en phosphore sont satisfaisantes d'après les normes ASTM D6751 et l'EN 14214.

La deuxième étude de Sáez-Bastante *et al.* (256) de 2015 a permis d'obtenir du biodiesel à partir de l'huile de cameline en utilisant les ultrasons. L'objectif est de voir si l'utilisation des ultrasons permet de diminuer au moins l'un des principaux inconvénients de la production de biodiesel : les températures de réaction élevées, l'agitation et le temps. Les chercheurs se sont intéressés à deux paramètres : la quantité de catalyseur et le nombre de cycles. Ils ont testé plusieurs concentrations, il y a une seule réponse significative avec la quantité de catalyseur dans DOE II (*Design Of Experiments*).

- Le DOE I correspond à un nombre de cycles d'ultrasons avec plusieurs concentrations de catalyseur. Entre chaque cycle, il y a une pause d'une minute.
- Pour le DOE II, les chercheurs ont ajouté entre chaque cycle d'ultrasons, un cycle d'agitation de cinq minutes à 900 tours/minute à température ambiante. Pour le DOE II avec le catalyseur KOH seulement, des effets significatifs sont signalés.
- Pour le DOE III, le cycle d'agitation est le même, mais le mélange est chauffé à 50 °C pendant les cinq minutes du cycle. Le catalyseur utilisé était du KOH.

Le tableau ci-dessous nous indique les différentes propriétés physiques du biodiesel avec DOE II et III.

Property	Standard	DOE II	DOE III
<i>Quality parameters</i>			
MG (% w/w)	EN 14105 Max: 0.8	0.56	0.25
DG (% w/w)	EN 14105 Max: 0.2	0.25	0.19
TG (% w/w)	EN 14105 Max: 0.2	0.40	0.37
Glycerol (% w/w)	EN 14105 Max: 0.25	0.26	0.31
FAME (% w/w)	EN 14103 Min: 96.5	99.37	99.08
Linolenic ester content (% w/w)	EN 4103 Max: 12	36.21	36.53
Water content (ppm)	EN ISO 12937 Max: 500	398	412
Carbon residue remnant (% w/w)	EN ISO 10370 Max: 0.3	0.08	0.08
Flash point, FP (°C)	EN ISO 2719 Min: 120	139	137
High calorific value, HCV (J/g)	ASTM D240	39107	39224
Kinematic viscosity at 40 °C, μ (mm ² /s)	EN ISO 3401 Min: 3.5; Max: 5	4.10	4.10
Density at 15 °C, ρ (kg/m ³)	EN ISO 3675 Max: 860; Min:900	870	870

Tableau n°96 : Les propriétés physiques du biodiesel obtenu avec DOE II et DOE III par Sáez-Bastante et al.(256)

Légende: FAME :(Fatty Acid Methyls Esters / MG : mono glycéride / DG : di glycérides)/ TG: triglycérides

La majorité des valeurs sont correctes pour la norme EN 14105 et il n’y a pas de différence significative entre les deux. Le seul problème est la concentration en DG, TG, glycérol et la linolenic ester content. Ce biodiesel ne peut pas être utilisé seul. Il a besoin d’autres biodiesels à faible teneur en acide α -linoléique. Avec cette association, il est possible d’obtenir un mélange présentant tous les paramètres de la norme EN 14105. Quant au nombre de cycles, l’étude montre qu’il faut trois cycles d’ultrasons. La production de biodiesel avec de l’huile de cameline par ultrasons avec une combinaison de cycle d’agitation nécessite donc une plus faible quantité d’énergie mais ne respecte pas la norme EN 14214 (si l’huile est seule).

En Europe, c’est le projet ITAKA financé par l’Union Européenne qui a pour objectif de développer des biocarburants pour les avions. Il a vu le jour en 2012 et s’est conclu en 2016. CORDIS (Service d’information sur la recherche et le développement de l’Union européenne) (85) nous indique que : « Le projet a utilisé de l’huile de cameline en raison de son potentiel en tant que matière première durable pouvant être produite en Europe sans concurrencer d’autres cultures ou utilisations des terres. Cela est dû au fait qu’elle était produite dans des zones arides où aucune autre culture ne pouvait être développée ». Certains des biocarburants obtenus ont été utilisés sur l’aéroport d’Oslo-Gardemoen.

Les résultats de toutes les études menées avec du biodiesel obtenu à partir de l'huile de cameline ont amené à pouvoir réaliser des vols. Le 18 juin 2011, un G-450 a effectué la première traversée transatlantique entre l'aéroport de Morristown au New Jersey et l'aéroport du Bourget avec pour moitié du biocarburant à base d'huile de cameline et pour autre moitié du kérosène classique (le Green Jet Fuel). Ce vol a été approuvé par l'ASTM International qui a autorisé l'utilisation de biocarburants pour l'aviation. Quelques jours plus tard, un autre avion, le 747-8 Freighter de Boeing a réussi sa traversée de l'Atlantique. Il est lui aussi arrivé à l'aéroport du Bourget en partant d'Everett (au nord de Seattle) dans l'état du Washington. Les différents moteurs étaient alimentés avec un mélange de 15 % de biocarburant à base d'huile de cameline et de 85 % de kérosène. Les moteurs n'ont pas eu de modification pour ce vol de plus de 8 000 km.

L'étude Moore *et al.* (214) de 2017 s'est intéressée aux émissions d'échappement des moteurs d'avions (plus précisément le DC-8 de la NASA). Ils ont comparé les émissions d'un carburant classique (teneur en soufre moyenne et faible) et d'un mélange 50/50 en volume entre ce même carburant et biocarburant à base d'huile de cameline. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

Emissions index (per kg of fuel)	Medium-sulfur-content Jet A fuel	Low-sulfur-content Jet A fuel	Ratio	50:50 HEFA:low-sulfur-content Jet A fuel blend	
	Emissions index	Emissions index		Emissions index	Ratio
Total particle ($D_p > 5 \text{ nm}$) number	-	$1.94 \times 10^{15} \ast 1.53$	-	$1.58 \times 10^{15} \ast 1.64$	-
Ultrafine particle ($5 \text{ nm} < D_p < 10 \text{ nm}$) number	-	$1.40 \times 10^{15} \ast 1.62$	-	$1.24 \times 10^{15} \ast 1.74$	-
Fine particle ($D_p > 10 \text{ nm}$) number	$6.51 \times 10^{14} \ast 1.14$	$7.01 \times 10^{14} \ast 1.55$	1.08	$3.36 \times 10^{14} \ast 1.33$	0.52****
Volatile fine particle number	$3.86 \times 10^{14} \ast 1.08$	$3.52 \times 10^{14} \ast 1.74$	0.91	$1.86 \times 10^{14} \ast 1.38$	0.48****
Non-volatile fine particle number	$2.63 \times 10^{14} \ast 1.26$	$3.43 \times 10^{14} \ast 1.39$	1.30	$1.46 \times 10^{14} \ast 1.37$	0.55**
Total particle ($5 \text{ nm} < D_p < 120 \text{ nm}$) volume (mm^3)	$16.58 \ast 1.14$	$18.03 \ast 1.85$	1.09	$8.62 \ast 1.72$	0.52
Volatile particle volume (mm^3)	$5.62 \ast 1.67$	$5.98 \ast 1.86$	1.06	$2.90 \ast 1.88$	0.52
Non-volatile particle volume (mm^3)	$10.65 \ast 1.11$	$12.03 \ast 1.85$	1.13	$5.42 \ast 1.73$	0.51**
PSAP black-carbon-equivalent mass at 467 nm (mg)	$17.12 \ast 1.12$	$14.48 \ast 1.24$	0.85	$7.24 \ast 1.33$	0.42****
PSAP black-carbon-equivalent mass at 530 nm (mg)	$16.85 \ast 1.12$	$12.89 \ast 1.36$	0.76	$6.79 \ast 1.33$	0.40****
PSAP black-carbon-equivalent mass at 660 nm (mg)	$16.15 \ast 1.13$	$16.07 \ast 1.16$	0.99	$6.01 \ast 1.39$	0.37****
Carbon monoxide, CO (g)	5.99 ± 0.96	4.02 ± 0.54	0.67**	4.68 ± 1.27	0.78*
Nitrogen oxides, NO _x (g)	7.26 ± 0.50	7.60 ± 0.41	1.05	7.28 ± 0.33	1.00

Tableau n°97 : Les indices d'émissions des trois moteurs en conditions de croisière d'après Moore et al. (214)

Les résultats significatifs apparaissent en gras. La grande majorité des émissions de particules diminuent d'environ 50 %.

La cameline a été étudiée au Chili comme source de biocarburant. Elle a été introduite en 2008 car le pays cherche de nouvelles matières premières puisqu'il importe environ 90 % de ses besoins. Hors, le prix des carburants ne cessent d'augmenter d'où l'initiative du gouvernement. Les sols au Chili sont souvent pauvres en azote, un déficit qui

aura pour effet une petite taille des feuilles et une précocité de la récolte avec des graines également plus petites. Le but de cette étude de 2013 de Solis Alejandro *et al.* (270) est de savoir si la cameline peut être récoltée dans ce pays. Sur l'année 2008-2009, quatre lieux distincts ont été sélectionnés avec des environnements différents (climat tempéré, méditerranéen, froid dans le centre/sud du territoire). Les scientifiques ont testé quatre taux d'azote (0, 75, 150 et 300 kg d'azote par hectare), trois taux de phosphore (0, 50 et 100 kg P₂O₅ ha⁻¹) et deux taux de soufre (0 et 40 kg de SO₄ ha⁻¹) pour l'expérience 1 (Los Angeles et Gorbea). Pour l'expérience 2, seul l'azote et le soufre ont été testés à El Carmen et Osorno. Les résultats ont montré que la cameline répond positivement à la fertilisation azotée jusqu'à 185 kg N ha⁻¹ comme le montre le modèle de régression ci-dessous (si les conditions environnementales sont bonnes). Le modèle nous montre le rendement (*seed yield*) en kg ha⁻¹ et le taux d'azote (*nitrogen rate*) en kg N ha⁻¹. Le taux de phosphore apparaît sous différents symboles.

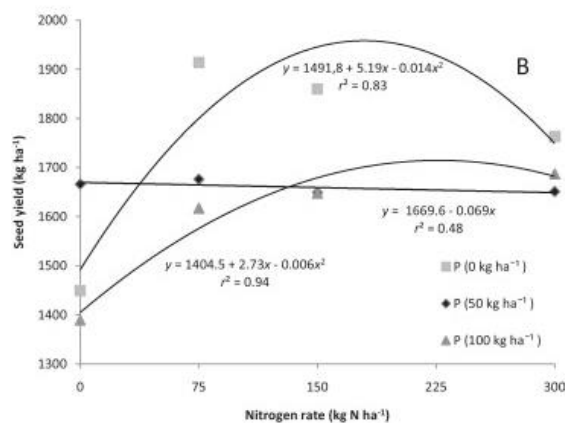


Figure n°221 : Le rendement en graine de cameline en fonction du taux d'azote et du taux de phosphore par Solis Alejandro *et al.* (270)

La teneur en huile des graines diminue lorsque le taux d'azote augmente trop. En revanche, le taux de soufre et le taux de phosphore sont sans influence sur le rendement en graines. Sur le graphique, les meilleurs rendements ont lieu quand il n'y a pas d'ajout de phosphore sauf en l'absence d'azote. Nous pouvons déduire de cette étude que la cameline pourrait être une source pour faire du biodiesel au Chili.

La cameline peut-être une source de biocarburant, mais quelle en est la rentabilité ? Des chercheurs canadiens, Mupondwa Edmund *et al.* (221) en 2016 se sont penchés sur cette question. L'idée était d'incorporer la cameline dans le système de culture existant et

non de remplacer une autre plante ainsi la cameline serait installée dans les jachères. La province de Saskatchewan a été choisie pour réaliser le test. Les agriculteurs devaient se réunir en coopérative (qui existe déjà pour d'autres filières) pour transformer la graine en huile, farine et biodiesel. En 2015, le boisseau (récipient de forme cylindrique destiné à mesurer les matières sèches comme les graines par exemple, contient l'équivalent de 27,21 kg de blé ou soja) coûtait entre 9 et 10 dollars. Avec un rendement de 700 kg ha⁻¹ (rendement de mauvaise année), le coût total de la production et de l'exploitation ne permettrait pas d'avoir des bénéfices. Avec des rendements classiques (environ 1 600 kg ha⁻¹) ou des hauts rendements (apports d'azote, d'eau si besoin : 2 500 kg ha⁻¹), l'agriculteur gagnerait 256,98 dollars à 661,98 dollars pour un haut rendement. La région serait capable de produire de 20 à 75 millions de litres d'huile de cameline (avec un taux de participation de 50 % et une teneur en huile de 38 %). Pour construire l'usine, les investissements totaux seraient entre 10 et 25 millions de dollars. Plus l'usine produira d'huile de cameline, plus le coût de production diminuera (de 0,97 pour 11 millions de litres à 0,77 pour 42 millions de litres avec une teneur en huile de 38 %). Pour que le système soit viable, il est important que les tourteaux puissent être vendus. En fonction de la sous-espèce de cameline, le pourcentage en huile peut varier et donc avoir un impact positif sur la rentabilité.

e) *La nutrition animale*

Dans cette partie, nous allons nous intéresser aux animaux et à leurs nourritures. Des études se sont penchées sur l'alimentation animale (remplacement d'une partie du régime avec de l'huile de cameline ou des tourteaux) et l'impact possible sur la qualité de la viande.

Hixson Stefanie *et al.* (152) en 2013 ont choisi la morue de l'Atlantique. Le changement de régime s'est fait avec de l'huile de cameline puisque riche en AGPI. L'objectif de l'étude a été de voir si répercussions, il y avait sur la teneur en acides gras du foie et des tissus musculaires de ces poissons. Trois régimes ont été proposés aux morues :

Type de régime	Caractéristiques
Régime contrôle (FO)	Huile de hareng
Régime CO40	40 % d'huile de cameline
Régime CO80	80 % d'huile de cameline

Tableau n°98 : Les différents régimes proposés aux morues d'après Hixson Stefanie *et al.* (152)

Le régime CO80 a une teneur en AGS significativement plus bas que les deux autres et une teneur en AG ω 6 plus élevée que le régime témoin. Après les neuf semaines de cette nouvelle alimentation, la taille et le poids des poissons entre les groupes étaient similaires.

- Au niveau du foie, il y a eu quelques changements : les triglycérides étaient significativement plus élevés chez le groupe CO80 (82 %) que chez le groupe témoin (76 %) et le groupe CO40 (71 %). Le pourcentage de lipide totaux et de lipides neutres été plus important chez le groupe CO80. En revanche, ce groupe avait des proportions de stérols inférieurs au groupe témoin. L'huile de cameline étant riche en ALA, il y a eu une augmentation significative de la teneur dans le foie et dans le muscle.
- Dans le muscle, la teneur totale en AGPI a diminué dans le groupe CO80 et la teneur en AGMI a augmenté avec le pourcentage de cameline dans le régime. Ceci a entraîné une diminution du rapport ω 6/ ω 3 (de 7 à 4). Plus précisément, l'acide linoléique et l'ALA ont augmenté et les acides eicosapentaénoïque et le DHA ont diminué par rapport au groupe témoin.

Le foie et les muscles n'ont pas réagi de la même façon : le foie n'a pas eu de changement de ratio, de teneur en AGPI et en AGMI.

L'étude d'Hixson Stefanie *et al.* (153) de 2014 s'est intéressée aux effets du remplacement de l'huile de poisson par l'huile de cameline avec une substitution partielle de farine de poisson par la farine de cameline dans l'alimentation du saumon d'élevage. Cette alimentation a été suivie pendant 16 semaines. La cameline a été choisie en partie pour son rapport ω 6/ ω 3. L'objectif des chercheurs est d'obtenir du saumon avec un meilleur niveau d'acides gras essentiels tout en gardant la même texture et la même couleur de chair. Les saumons ont été séparés en cinq groupes, la répartition est présentée dans le tableau suivant.


 Premier groupe	Huile de poisson et farine de poisson
Deuxième groupe	Huile de cameline et farine de poisson
Troisième groupe	Huile de cameline et SEFM (Solvent-extracted fish meal: farine de poisson extraite avec du solvant)
Quatrième groupe	Huile de cameline, farine de poisson et tourteaux de cameline
Cinquième groupe	Huile de cameline, SEFM et tourteaux de cameline

Tableau n°99 : Composition des régimes des cinq groupes de saumon par Hixson Stefanie et al. (153)

Au niveau des résultats, il n'y a pas de changement de poids significatif. Dans les tissus blancs, le taux de lipides neutres a augmenté pour trois groupes (le 3, 4 et 5). Les AGMI et l'ALA étaient significativement plus élevés dans les groupes avec de l'huile de cameline. Dans les muscles noirs, les lipides totaux et les lipides neutres étaient significativement plus élevés dans les groupes 2 et 3. Au niveau de la matière grasse viscérale, le groupe 1 était le plus riche en lipides totaux. Le groupe 3 a eu une augmentation significative de son taux de stérols. Il est important de noter qu'il n'y avait pas de différence au niveau de l'apparence, de l'odeur ou de la texture des filets de saumon ce qui est important pour une future commercialisation. En règle générale, le remplacement de l'huile de poisson par de l'huile de cameline diminue les AGS et augmente les AGMI et les AGPI. Ce changement de rapport peut poser problème aux poissons et en particulier pour la production d'eicosanoïdes. Un déséquilibre entre les deux peut entraîner un développement du processus inflammatoire, une augmentation de la tension artérielle...La conclusion de cette étude est qu'il est très intéressant d'utiliser l'huile de cameline pour nourrir les saumons, mais seulement pendant la phase juvénile et/ou de grossissement, période durant lesquelles une diminution importante des AGE (DHA et EPA) et des AG ω 6 est observée.

Une étude de Rokka.T *et al.* (252) en 2002 s'est intéressée aux œufs de poule. Est-ce qu'une alimentation enrichie en AGPI ω 3 pour les poules va augmenter le taux dans les œufs et donc être une nouvelle source d'AG ω 3 pour les hommes ? Différentes recherches ont

montré que la composition en AG des œufs pouvait varier en fonction de l'alimentation d'où cette étude pour savoir si c'est possible avec l'huile de cameline. Pour cela, les chercheurs ont séparé des poules en deux groupes : un groupe avec un régime standard (groupe témoin) et un deuxième groupe avec un supplément de 5 % d'huile de cameline. Cette alimentation (noté *feed* dans le tableau suivant) a été maintenue pendant trois semaines. Les œufs ont été récoltés puis analysés. Les résultats apparaissant dans le tableau ci-dessous :

Fatty acid (%)	Control		<i>C. sativa</i>	
	Feed	Eggs	Feed	Eggs
C16:0 (palmitic)	18.93	25.50	12.90	23.82
C16:1 / C17:0	0.88	2.81	0.64	1.93
C18:0 (stearic)	4.95	8.83	5.24	9.32
C18:1 (oleic)	29.41	43.33	21.73	39.57
C18:2 w6 (linolic)	37.69	12.00	22.76	13.38
C20:4 w6 (arachidonic)	–	1.95	–	1.23
C18:3 w3 (alfa linolenic)	4.58	0.60	33.32	5.02
C20:5 w3 (EPA)	–	–	–	–
C22:6 w3 (DHA)	–	1.25	–	1.81
OMEGA-3 tot.	4.58	1.85	33.32	6.83
OMEGA-6 tot.	37.69	13.95	22.76	14.61
W6/W3	8.23	7.54	0.68	2.14

Tableau n°100 : Composition des œufs de poules des deux groupes dans l'étude de Rokka.T et al. (252)

En regardant le tableau de plus près, le rapport $\omega 6/\omega 3$ est passé de 7,54 à 2,14 (ceci est dû principalement à l'augmentation de la teneur totale en AG $\omega 3$ qui est passé de 1,85 à 6,83). La deuxième augmentation importante concerne l'acide α -linoléique qui varie de 0,6 dans les œufs témoins à 5,02 dans le deuxième groupe. Ensuite, les chercheurs se sont intéressés à la possibilité de changement au niveau des propriétés fonctionnelles (propriétés moussantes, émulsifiantes et gélifiantes). Ceci est nécessaire pour savoir si les œufs pourraient être utilisés dans l'industrie (exemple de la boulangerie). Ils n'ont remarqué aucune différence. Ils ont demandé dans un second temps à 10 personnes de tester les œufs : odeur et goûts. Les œufs étaient frais ou stockés pendant 21 jours. Il n'y a pas eu de différence au niveau des descriptions, la qualité sensorielle était sensiblement meilleure pour les œufs qui venaient des poules avec le régime à base d'huile de cameline.

Kerhoas *et al.* (176) en 2010 ont voulu étudier le lien entre la teneur en acides gras des œufs et leurs modes de production. Pour cela, ils ont choisi différentes gammes d'œufs

disponibles en supermarché comme des œufs bio, avec un label... Les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

Mode de production des œufs	Teneur en acides gras (en % des acides gras totaux)				Ratio Oméga 6 / oméga 3 <i>Objectif < 4</i>
	% oméga 3		% oméga 6	% graisses saturées	
	Acide alpha-linolénique ALA	Acide docosahexaénoïque DHA	Acide linoléique LA		
Bleu-Blanc-Cœur	3,5	1,6	15	31	4
Plein Air	0,7	0,8	18	33	26
Label Rouge	1,0	0,7	23	33	23
Agriculture Bio	0,6	0,6	18	34	30
Cage	0,5	0,7	15	32	30

Tableau n°101 : La teneur en acides gras des œufs en fonction du mode de production d'après Kerhoas et al. (176)

Les résultats sont très intéressants : il y a un seul mode de production qui permet d'avoir un ratio $\omega 6/\omega 3$ optimal et il s'agit des œufs Bleu-Blanc-Cœur.

Il faudra cependant d'autres études pour confirmer les résultats et étudier l'impact possible sur les poules pondeuses à plus long terme.

2. Utilisations des tourteaux de cameline

Nous allons nous intéresser aux tourteaux de cameline et à leurs utilités. Le développement de la production de la cameline nécessite que toutes les parties de la plante soient utiles et utilisables. La production d'huile fournit des tourteaux qui doivent avoir un débouché pour que l'ensemble soit rentable et puisse continuer à se développer.



Figure n°222 : Les tourteaux de cameline
d'après Sancoil (259)

Sous-produit du processus d'extraction de l'huile, les tourteaux de cameline ressemblent aux tourteaux de soja du point de vue du pourcentage en protéines brutes (de 45 à 47 %) et en fibres (10 à 11 %).

D'après le ministère de l'agriculture canadien, de l'alimentation et des affaires rurales (211), « Le tourteau de caméline contient 30 % à 40 % de protéines brutes, 12 % de fibres et 10 % à 14 % d'huile ». Sa composition peut varier en fonction de la méthode de production. Sa teneur en protéine est cependant plus importante que pour le tourteau de canola ou de lin.

Les tourteaux de cameline peuvent servir par exemple à nourrir des porcs d'engraissement. Ici, les porcs ont été séparés en deux groupes par l'équipe de Taranu Ionelia *et al.* (279) en 2014:

- Le premier groupe a eu un régime alimentaire qui contenait 12 % de tourteaux de tournesol
- Le deuxième groupe a eu 12 % de tourteaux de cameline dans son alimentation.

Le reste du régime alimentaire était identique dans les deux groupes. Chaque groupe était constitué de 12 porcs. Ils ont été nourris pendant 33 jours avec ces régimes spécifiques. Les chercheurs se sont intéressés à l'effet sur leur performance, ont analysé leur plasma, ont recherché les médiateurs pro et anti-inflammatoire et ont étudié la rate. Les résultats nous indiquent qu'il n'y a pas de différence significative sur la prise alimentaire ou sur le poids du cochon. En revanche avec le régime numéro 2, il y a une diminution significative de la concentration de glucose plasmatique (84,24 mg/dL dans le groupe 1 *versus* 68,68 mg/dL). L'ajout de cameline a amené une augmentation en AGPI ω 3 (6,4 *versus* 1,95) et une diminution du rapport ω 6/ ω 3 (25,45 pour le groupe 1 et 6,82 pour le groupe 2). Au niveau

de la rate, la réponse immunitaire avec le régime à base de cameline a diminué l'expression génétique des marqueurs pro-inflammatoires, de l'interleukine 1-bêta (IL-1b), du facteur de nécrose tumorale alpha (TNF- α) et de l'interleukine 6 (IL-6). L'expression du gène PPAR-c a augmenté significativement, ce gène a pour rôle de réguler la réponse immunitaire et notamment la production de cytokines inflammatoires. Les mécanismes qui permettent à la cameline de moduler la réponse immunitaire ne sont pas encore tous décryptés et de nombreux travaux sont encore à faire. Différentes recherches ont permis de découvrir que les AGPI affectent l'expression de nombreux médiateurs inflammatoires. Certains résultats étaient donc attendus comme la diminution significative de l'expression du gène COX-2 (cyclooxygénase 2).

Une deuxième étude de Hurtaud C et Peyraud J.L (158) en 2007 s'est intéressée aux ruminants et plus particulièrement à la composition du lait. Ils ont testé sur des vaches laitières Holstein deux régimes différents mais avec la même teneur en AGPI. Le premier groupe a reçu des graines de cameline (GC) et le deuxième groupe a reçu les tourteaux de cameline (TC). Il n'y a pas eu de différence significative sur la production laitière. En revanche, la teneur en matière grasses a diminué davantage avec le régime TC que le régime GC (de 2,51 à 1,44). Quelque soit le régime, la teneur en protéines du lait et sa teneur en lactose ont chuté. La teneur en acides linoléiques conjugués (famille d'isomères de l'acide linoléique) a augmenté et plus précisément l'acide ruménique, acide reconnu pour notamment pour ses propriétés anticancérigènes. Cependant la teneur élevée en Trans-10 C18:1 est à signaler. Cette concentration importante d'isomères trans n'est pas souhaitable sur le long terme d'où la proposition de limiter à 2 kg de cameline par jour et par vache. D'autres résultats sont présentés dans le tableau suivant.

	Témoin	GC	TC	ETR	Effet
MSI. kg/j	21.0	20.6	19.8	0.79	0.104
Lait. kg/j	33.8	34.4	32.5	1.76	0.298
TB. g/kg	31.4 ^a	25.1 ^b	14.4 ^c	2.44	< 0.001
TP. g/kg	28.9	28.3	27.6	0.80	0.802
AG Saturés. %	72.7 ^a	66.6 ^b	57.4 ^c	2.22	< 0.001
AG Insaturés. %	27.3 ^a	33.4 ^b	42.6 ^c	2.22	< 0.001
Mono-insaturés	25.1 ^a	30.7 ^b	39.7 ^c	2.09	< 0.001
Poly-insaturés	2.16 ^a	2.70 ^b	2.92 ^b	0.29	0.010
Barattage. min	15.4 ^a	15.1 ^a	29.4 ^b	4.04	< 0.001
Dureté 4°C. kN	0.25 ^a	0.17 ^b	0.13 ^c	0.03	< 0.001
Dureté 10°C. kN	0.12 ^a	0.07 ^b	0.04 ^c	0.01	< 0.001

Tableau n°102 : Quelques résultats de l'étude de Hurtaud C et Peyraud J.L (158)

Une seconde partie de l'étude s'est penché sur le beurre obtenu à l'aide des deux régimes. Le beurre TC à un temps de barattage plus long, ceci est lié à sa composition en AG (teneur élevée en Trans-10 C18:1). Les beurres sont plus facilement tartinable car la dureté est plus faible, conséquence de l'augmentation de la teneur en AG insaturés (42,6 pour le TC et 33,4 pour le GC). L'étude ne parle pas de l'impact sur le prix. Il faut souligner qu'une diminution trop importante en matière grasse et / ou en protéines va engendrer une pénalité pour les producteurs. La pénalité pour la teneur en protéines est plus grande que pour la teneur en matière grasse.

Une troisième étude de Cieslak Adam *et al.* (74) en 2013 s'est aussi intéressée au régime alimentaire de ruminants en l'enrichissant en cameline (100 et 200 g de matière sèche). Les chercheurs ont voulu connaître l'impact sur la composition du muscle d'agneau (et l'éventuelle amélioration des valeurs nutritionnelles). Les agneaux ont été séparés en trois groupes : un groupe contrôle, un groupe 1 avec 100 g de tourteau de cameline et un groupe 2 avec 200 g. Cette alimentation a été maintenue pendant 110 jours en Pologne. Les résultats nous indiquent une diminution significative du rapport ω_6/ω_3 (groupe contrôle : 1,22 ; groupe 1 : 0,95 et groupe 2 : 0,83). Dans les groupes numérotés 1 et 2, il y a eu une hausse de la teneur en acide linoléique et de ses isomères. Cette expérience est concluante puisque qu'en augmentant le taux de certains acides gras dans l'alimentation, la viande obtenue a un meilleur profil lipidique.

La quatrième étude de Lawrence *et al.* (189) en 2016 s'est aussi portée sur des vaches Holstein mais cette fois-ci se sont des génisses. Le but de l'étude est de comparer l'effet de la farine de cameline (CAM), de lin (LIN) ou de céréales séchées (DDGS) sur la croissance et le profil métabolique des génisses. Les différentes farines composaient 10 % du régime alimentaire. Les résultats nous indiquent aucune différence significative entre les régimes en ce qui concerne la croissance et le profil métabolique.

De nombreuses études se sont intéressées à l'alimentation des animaux *via* des tourteaux de cameline. Pour les lapins, les graines ne doivent pas dépasser 15 % de leur ration d'après Peiretty PG *et al.* (235). Pour des jeunes dindons, l'apport en tourteaux ne doit pas être au-dessus de 5 % d'après Frame DD *et al.* (123). En général, les tourteaux ont des effets positifs s'ils sont présents en tant que complément dans le régime et pas en tant

qu'ingrédient principal du régime alimentaire de l'animal. Le tourteau de cameline tout comme la cameline contient des composés antinutritionnels comme les glucosinolates qui ne peuvent pas être consommés en grande quantité du fait de leur toxicité.

Les tourteaux de cameline peuvent aussi être utilisée en aquaculture ou comme engrais.

V. Conclusion

La demande mondiale en huiles végétales augmente d'année en année impliquant le développement de nouvelles huiles et le retour en grâce d'huiles végétales d'antan. Les méthodes de production industrielles s'améliorent pour optimiser le rendement mais ces procédés diminuent la concentration en insaponifiables comme les tocophérols ce qui a pour conséquence une perte de la qualité nutritionnelle des huiles. Des nouvelles méthodes d'extraction arrivent sur le marché, celles-ci sont plus économiques et écologiques. Elles respectent mieux les nutriments. Cependant, les méthodes traditionnelles sont encore présentes. Les consommateurs recherchent des huiles végétales de grande qualité nutritionnelle et produites localement.

La cameline fait partie des cultures rapides (environ 100 jours entre le semis et la récolte), c'est une plante qui a de nombreux avantages : elle peut être cultivée seule, en association et rentre dans le système de doubles-cultures. Les principales variétés de cameline sont des cultures d'été mais elle existe aussi en culture d'hiver. Lors de l'association entre deux plantes, la cameline est la plante secondaire, elle va avoir comme rôle d'aider la plante principale. Elle peut servir de tuteur à la lentille ou éviter la prolifération des mauvaises herbes lors de la pousse du soja. La cameline peut aussi être incorporée dans des bandes fleuries pour aider à la protection des cultures adjacentes. Enfin, elle peut être cultivée seule. Les graines vont permettre la production d'huile de cameline et des tourteaux.

La cameline était une plante très utilisée dans le passé, après avoir été presque totalement oubliée, elle revient en force grâce aux propriétés très intéressantes de son huile. Son huile qui a une composition en acides gras remarquable, un rapport ω_6/ω_3 optimal.

Son utilisation en cosmétologie ne cesse d'augmenter. La cosmétique biologique est en plein essor, les industriels cherchent des huiles végétales biologiques avec des propriétés principalement hydratantes. La production d'huile végétale de cameline est essentiellement biologique, c'est donc un nouveau débouché pour les agriculteurs. Des grandes marques comme Dior ont décidé d'incorporer de l'huile de cameline dans certaines de leurs

nouveautés : la collection de rouge à lèvres Ultra Care. Le monde du maquillage est entré dans une nouvelle ère. Les consommateurs ne veulent pas seulement du maquillage, ils désirent du soin en plus. L'huile de cameline apporte notamment l'hydratation et limite le vieillissement cutané.

Pour qu'une huile puisse se développer, il est nécessaire que les sous-produits obtenus lors de la production aient une utilité. Les tourteaux de cameline ont été étudiés dans le domaine de l'alimentation animale, les études s'accordent sur un effet bénéfique comme complément au régime principal. Les tourteaux sont une source intéressante d'acides gras $\omega 3$ pour les animaux.

En fonction des pays, la production et le devenir de la cameline évoluent. En Europe, l'utilisation est plutôt alimentaire et cosmétique. Sur le continent américain, son développement est lié à la production de nouveaux biodiesels.

Cependant, la filière française a du mal à se développer. L'un des principaux freins est l'absence d'une filière organisée au niveau national voire international. Pour le moment, sa culture est limitée à de petites zones géographiques, à la volonté de certains agriculteurs d'en cultiver et de vendre leurs productions principalement sous la forme de produits finis (l'huile). Pour le développement de la filière cameline, il faut pouvoir acheter des graines en grandes quantités et livrer les récoltes dans les coopératives où les agriculteurs amènent les autres récoltes (blé, avoine, tournesol...). Le développement de la filière nécessitera du temps et de la volonté. Certains grands industriels commencent à proposer dans leurs catalogues de semences, des mélanges avec de la cameline pour la jachère. Il s'agit d'une première étape avant le lancement de la cameline en tant que culture principale.

En conclusion, nous pouvons dire que la cameline et son huile ont un bel avenir devant elles sachant que la plante n'a peut-être pas encore livré tous ses secrets.

VI. Bibliographie

1. A. Francis et S.I Warwick (2009) The Biology of Canadian Weeds: *Camelina alyssum* (Mill.) Thell.; *C. microcarpa* Andr. ex DC.; *C. sativa* (L.) Crantz. *Canadian Journal of plant science*
2. A.Trautwein Elke et Isabelle Demonty (2007) Phytosterols : natural compounds with established and emerging health benefits. *OCL* 14 (5)
3. A. Trautwein *et al.* (2010) Plant stérols – a dietary approach for effective blood lipid lowering as part of a heart healthy diet. *Current topics in nutraceutical research* 8 (4)
4. Abbaye de Chaalis Institut de France. Les parfums dans l'Antiquité
5. Aboutayeb R (2018) Préparation des graines oléagineuses. Sciences et Techniques des Aliments
6. Abramovic Helena et Abram Veronika (2005) Physico-Chemical Properties, Composition and Oxidative Stability of *Camelina sativa* Oil. *Food Technology Biotechnology* 43 (1)
7. Afidol (2012) Le marché des matières grasses en France. Market Olea
8. Afidol. Dépliant : Enseignement huile et olive
9. AFNOR (Association française de normalisation) (2014) NF EN ISO 5555 : Corps gras d'origines animale et végétale. Échantillonnage
10. Agence bio Dossier de presse 2015 : Record d'acheteurs et de consommateurs de produits bio
11. Agence bio Dossier de presse : Repères chiffrés 2017 du bio en France
12. Agence bio Les chiffres clés de l'agriculture biologique en 2017
13. Agreste (2019) Statistique agricole annuelle 2017-2018 Données définitives. Ministère de l'Agriculture et de l'alimentation
14. Agriconomie : Cameline
15. Agridea (2013) Cameline
16. Agrifind : Puceron *Rhopalosiphum padi* sur orge
17. AIDA. Directive n° 2009/32/CE du 23/04/09 relative au rapprochement des législations des Etats membres concernant les solvants d'extraction utilisés dans la fabrication des denrées alimentaires et de leurs ingrédients

18. Aioi Akihiro *et al.* (1995) Effect of squalene on superoxide anion generation induced by a skin irritant, lauroylsarcosine. *International Journal of Pharmaceutics* 113 (2)
19. Albracht-Sculte Kembra *et al.* (2018) Omega-3 fatty acids in obesity and metabolic syndrome: a mechanistic update. *The journal of nutritional biochemistry* 58
20. Ameli (2019) Comment lire les résultats d'une prise de sang ?
21. Angelini Luciana Gabriella *et al.* (1997) Variation in agronomic characteristics and seed oil composition of new oilseed crops in central Italy. *Industrial Crops and Products* 6 (3-4)
22. Angiosperms Phylogeny Group (2016) La classification APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*
23. ANSES Rapport d'étude (2015) Apports en acide gras de la population vivant en France et comparaison aux apports nutritionnels conseillés définis en 2010
24. ANSES Rapport d'expertise collective (mai 2011) Actualisation des apports nutritionnels conseillés pour les acides gras
25. ANSES Rapport d'expertise collective (2016) Actualisation des repères du PNNS : élaboration des références nutritionnelles
26. ANSES Rapport d'expertise collective (2017) Etude individuelle nationale des consommations alimentaires 3 (INCA 3)
27. ANSES (2014) Evaluation du risque et du bénéfice liés à la consommation de produits enrichies en phytostérols ou en phytostanols
28. ANSES (2019) Les lipides : Composition et classification
29. ANSES Table de composition nutritionnelle des aliments
30. ANSM : Qu'est-ce que les huiles essentielles ?
31. Aouba Albertine *et al.* (2011) Données sur la mortalité en France : principales causes de décès en 2008 et évolutions depuis 2000. *Bulletin épidémiologique hebdomadaire* 22
32. Aromâge (2017) Comment doser vos préparations en HE ?
33. Aros Fernando et Estruch Ramon (2013) Primary Prevention of Cardiovascular Disease with a Mediterranean Diet. *Revista Española de Cardiología* 66 (10)
34. Arvalis Cetiom Infos (2013) Fourrages et tourteaux : les meilleures stratégies pour nourrir le troupeau
35. Association Bleu Blanc Cœur

36. Atelier populaire (2019) : Zoom sur nos huiles vierges biologiques
37. Auxilium médicale : Comment calculer son IMC à partir du poids et de la taille ?
38. Barakat Elodie (2013) Matières grasses et cuisson *Nutrition infos*
39. Bardeau Tiphaine (2015) Phospholipides bio-sourcés riches en acides gras oméga 3 pour la formulation de liposomes. Thèse à l'école doctorale des sciences chimiques
40. Bartosinska E *et al.* (2016) GC–MS and LC–MS approaches for determination of tocopherols and tocotrienols in biological and food matrices. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* 127 (5) pp 156-169
41. Baudart Charles (2019) Producteur de cameline et oléiculteur *Réussir Grandes Cultures*
42. Belayneh Henok D. *et al.* (2017) Effect of Extraction Method on the Oxidative Stability of Camelina Seed Oil Studied by Differential Scanning Calorimetry. *Journal of Food Science* 82 (3)
43. Belayneh Henok D. *et al.* (2017) Ethanol-Modified Supercritical Carbon Dioxide Extraction of the Bioactive Lipid Components of *Camelina sativa* Seed. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 94 (6)
44. Belayneh Henok D (2018) Lipid composition and emulsifying properties of *Camelina sativa* seed lecithin. *Food Chemistry* 242
45. Belayneh Henok D. *et al.* (2018) Development of omega- 3- rich *Camelina sativa* seed oil emulsions. *Food Science & Nutrition* 6 (2)
46. Bellamy Annick et Charbonnier Edwige (2017) Zoom sur la filière française de colza
47. Berger Jean Paul (1995) Science de la vie et de la terre : En quoi consiste la reproduction sexuée des êtres vivants ?
48. Berr Claudine *et al.* (2009) Olive oil and cognition: results from the three-city study. HAL author manuscripts
49. Biesalski Hans Konrad et Grimm Peter (1999) Atlas de poche de nutrition. Edition Flammarion
50. Biocontrol : Lutte contre les ravageurs : *Aphidus colemani*
51. Blondel Merry Joseph (1821) La dispute de Minerve et de Neptune au sujet d'Athènes. Tableau exposé au Louvres à Paris
52. Bocquet Alain (2018) Les acides gras dans l'alimentation de bébé 0-3 ans

53. Boffelli Isabelle et Bruno Isabelle (2017) Phytothérapie : L'essentiel du bien-être au naturel. Hachette livre
54. Bouazdi et Chicouche. Biochimie. Structure des lipides. 1^{ère} année de médecine dentaire.
55. Bouby Laurent (1998) Two early finds of gold-of-pleasure (*Camelina sp.*) in middle Neolithic and Chalcolithic sites in western France. *Antiquity* 72 (276)
56. Boué-Vaysse Carole *et al.* (2009) Teneurs en acides gras polyinsaturés essentiels du lait maternel en France : évolution du contenu en acides linoléique et α -linoléique au cours des 10 dernières années. *OCL* 16 (1)
57. Bourbonnais Gilles. Les phospholipides
58. Brault Véronique (2018) : Ces virus qui manipulent les plantes
59. Brigode Mélanie (2017) : Des bandes fleuries pour la lutte biologique : étude du comportement du syrphé face à des stimuli visuels et de l'effet de trois mélanges fleuris sur les pucerons et leurs ennemis naturels. Faculté de Gembloux Agro-Bio Tech
60. Burr MI *et al.* (1989) Effects of changes in fat, fish, and fiber intakes on death and myocardial reinfarction : diet and reinfarction trial (DART). *The Lancet* 2 (8666)
61. C.Christine (2016) L'huile de Baie d'églantier : parfaite pour illuminer votre visage. Oleassence
62. Ça m'intéresse & vivre mieux : Les labels biologiques
63. Camus Gilles (2013) Action des phytostérols sur le taux de cholestérol et les maladies cardiovasculaires. Planet Vie
64. Canola Council of Canada : Qu'est-ce que le canola ?
65. Carte du monde : image satellite du Montana
66. Centre pour l'écologie des sciences / Institut des sciences indiennes. Partie 55 : huiles et graisses végétales
67. Chahal Radwan (2015). Capteurs optiques en fibres de verre de chalcogénure dopées terres rares appliqués a la surveillance du stockage géologique de CO₂.Thèse. Université de Rennes
68. Charbonnier Morgaine. Les lipides : Structure, classification
69. Chesnais Quentin (2016) : Intégration de la Cameline au sein des agro-écosystèmes: des relations multi-trophiques complexes

70. Chesnais Q *et al.* (2014) Is the Oil Seed Crop *Camelina sativa* a Potential Host for Aphid Pests? *BioEnergy Research* 7 (2)
71. Chesnais *et al.* (2015) Aphid Parasitoid Mothers Don't Always Know Best through the Whole Host Selection Process. *PLOS one* 10 (8)
72. Chimi Hammadi (2006) Technologies d'extraction de l'huile d'olive et gestion de sa qualité. Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA 141
73. Chronologie de l'occident : Les âges de la métallurgie
74. Cieslak Adam *et al.* (2013) *Camelina sativa* affects the fatty acid contents in M. longissimus muscle of lambs. *European Journal Lipid Science Technology* 115 (11)
75. Clayton GD et Clayton FE (1982): *Patty's industrial hygiene and toxicology*. 3rd Edition John Wiley and Sons
76. Clergeaud Chantal et Lionel (2016) Les huiles végétales : huiles de santé et de beauté (édition renouvelée) Douce Alternative Editions Amyris
77. Cloutier Michel. Diaporama : Division des solides
78. *Codex Alimentarius* (1987) : Code d'usages pour l'entreposage et le transport des huiles et graisses comestibles en vrac. CAC/RCP 36-1987
79. *Codex Alimentarius* (1999) : Normes pour les huiles végétales portant un nom spécifique
80. Colin *et al.* (2010) Qualités nutritionnelles de la viande de lapin recevant un aliment enrichi en acide alpha-linolénique. *Nutrition clinique et métabolisme* 24 (sup n°1)
81. Collin Anne-Hélène (2015) Les huiles végétales. *Le moniteur des pharmaciens* N°3085 Cahier 1 page 48
82. Conseil Oléicole International (2006) Guide de gestion de la qualité de l'industrie d'extraction de l'huile de grignons d'olive
83. Consoglobe (2019) Alimentation : Comment bien choisir son huile d'olive ?
84. Coopérative Agrial (2018) Compte adhérent : grille tarifaire
85. CORDIS (2017) Initiative Towards sustainable Kerosene for Aviation : ITAKA: Vers de nouveaux cieux grâce à un biocarburant pour avions produit dans l'UE
86. Cornevin Charles (2016) Des résidus industriels dans l'alimentation du bétail
87. Couillard Marc-André (2019) Saint-Edouard : les graines de cameline d'Oliméga remportent un prix
88. Couleur Science (2019) : Comment un tournesol fait pour s'orienter face au Soleil ?

89. Cousin Nathalie (2005) Les huiles végétales pour votre santé. Delbille santé. Page 126
90. Crowley J.G. and Fröhlich A (1998) Factors affecting the composition and use of camelina
91. Dallongeville Jean *et al.* (2010) Acides gras oméga-3 et risque cardiovasculaire. *OCL* 17 (4)
92. Daun J *et al.* (2003) Structure, composition, and variety development of flaxseed. *Flaxseed in Human Nutrition, Second Edition*. Eds Thompson, pages 1-40
93. De Lorgeril Michel *et al* (1999) Mediterranean Diet, traditional risk factors, and the rate of cardiovascular complications after myocardial infarction: final report of the Lyon Diet Heart Study. *Circulation* 99 (6)
94. Denis Isabelle (2011) Les lipides. Université de Caen
95. Denis Isabelle (2015) Conférence sensorielle : Huiles : délices à découvrir ! (INRA)
96. Département Ager (2003) Tournesol 71 (6)
97. Dico-Citations. Les citations avec le mot « huile »
98. Direction de la prévision et des études économiques (2017) Evolution des cours des matières premières
99. Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (2017) Qualité des huiles végétales, autres que l'huile d'olive
100. Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (2018) Date limite de consommation (DLC) et date de durabilité minimale (DDM) : ce que vous devez savoir
101. Directive 76/768/CEE du conseil, du 27 juillet 1976, concernant le rapprochement des législations des Etats membres relatives aux produits cosmétiques
102. Directive 2009/28/CE du Parlement Européen et du conseil du 23 avril 2009 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables et modifiant puis abrogeant les directives 2001/77/CE et 2003/30/CE
103. Distillerie Florihana (2014) Fiche technique de l'huile végétale de cameline bio
104. Dixit et Hofmann Kay (1998) Ceramide in apoptosis – does it really matter? *Trends in Biochemical Sciences* 23 (10)
105. Druesne Céline (2006) De l'huile alimentaire pour valoriser le colza et le tournesol *Perspectives agricoles* 322
106. D.T Ehrensing et S.O. Guy (2008) Camelina. *EM* 8953 6 (3-4)

107. Edwards Jayne E et Moore R Andrew (2003) Statins in hypercholesterolaemia : a dose specific meta-analysis of lipid changes in randomized, double blind trials. *BioMed Central*
108. Elleros-Simatos Sandrine (2013) Biologie de la peau. Le tissu adipeux
109. Energie Environnement : Cultivar
110. Energie online. Les biocarburants
111. Epermarket : Laino[®] Coffret cadeau : soin du corps à l'huile d'olive
112. Estruch *et al.* (2018) Primary Prevention of Cardiovascular Disease with a Mediterranean Diet Supplemented with Extra-Virgin Olive Oil or Nuts. *The New England Journal Of Medicine* 378 (34)
113. Etude Nutrinet-santé (2011) Dossier de presse
114. European Palm Oil Alliance La production d'huile de Palme
115. Evrard Jacques *et al.* (2007) Procédés d'obtention et compositions nutritionnelles des huiles de tournesol, olive et colza. *Cahier de Nutrition et de Diététique* 42 (supplément 1)
116. Faure J. & Tepfer M. (2016) Camelina, a Swiss knife for plant lipid biotechnology. *OCL*, 23
117. Fédération nationale des industries des corps gras. Rapport d'activité de 2013 Panorama – sous classe 10.41A
118. Ferrari *et al.* (1996) Minor constituents of vegetable oils during industrial processing. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 73 (5)
119. Fine Frederic *et al.* (2013) Les agro-solvants pour l'extraction des huiles végétales issues de graines oléagineuses. *OCL* 20 (5)
120. Fontanel Didier (2011) Huiles végétales : teneurs en matières insaponifiables. Edition Tec & Doc. Page 85
121. Food info : Qu'est-ce qu'une pectine ?
122. FOP : Fédération Française des Producteurs d'Oléagineux et de Protéagineux (2018) Marché mondial des oléagineux
123. Frame DD *et al.* (2007) Use of *Camelina sativa* in the diets of young turkeys. *The Journal of Applied Poultry Research* 16 (3)
124. France AgriMer Guide des bonnes pratiques et de l'éco-extraction

125. Frère Blouin Alexandre : *Camelina sativa* : sommité florifère et fructifère. *Flore laurentienne*. Figure 70
126. Fuentes Ana *et al.* (2010) Comparison of wild and cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) quality. *Food Chemistry* 119 (4)
127. Garaulet M *et al.* (2006) Relationship between fat cell size and number and fatty acid composition in adipose tissue from different fat depots in overweight/obese humans. *International Journal of Obesity* 30
128. Gardarin Antoine (2016) Avec Gargamel, les bandes fleuries sont esthétiques et utiles aux cultures. *Travaux & Innovations* 232
129. Ghazani S.M. *et al.* (2012) The influence of traditional and minimal refining on the minor constituents of canola oil. Thèse à l'Université de Guelph
130. Girard Laurence (06 juillet 2019) L'huile d'olive française, la goutte d'or. Article dans le journal *Le Monde*
131. Giroud Maude (2015) Implication des microARNs dans la conversion des adipocytes blancs en adipocytes thermogéniques. Thèse Université Nice Sophia-Antipolis UFR Science
132. GISSI (1999) Dietary supplementation with n-3 polyunsaturated fatty acids and vitamin E after myocardial infarction results of the GISSI-Prevenzione trial. Gruppo Italiano per lo Studio della Sopravvivenza nell'Infarto miocardico. *The Lancet* 354 (9177)
133. GNIS (Groupement National Interprofessionnel des Semences et des plants) pédagogie : schéma de sélection et ressources génétiques
134. Going (1968) Oxidative deterioration of partially processed soybean oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 45 (9)
135. Gourmandine Agen. Salade de courgette crue à l'huile de cameline
136. Gouvernement français (2006) Décret n°2006-352 du 20 mars 2006 relatif aux compléments alimentaires
137. Groeneveld Jannah et Klein Alexandra-Maria (2014) Pollination of two oil-producing plant species: *Camelina* (*Camelina sativa* L.Crantz) and pennycress (*Thlaspi arvense* L.) double-cropping in Germany. *Global Change Biology Bioenergy* 6 (3)
138. Guesnet Philippe *et al.* (2005) Les rôles physiologiques majeurs exercés par les acides gras polyinsaturés (AGPI). *OCL* 12 (5-6)

139. Guesnet Philippe *et al.* (2013) Place des lipides dans l'alimentation du nourrisson. *Cahiers de nutrition et de diététique* 48 (4)
140. Guittat Sophie (2019) Mieux vivre autrement : fabriquer une bougie naturelle réutilisable sans produits chimiques
141. Guggbenbühl Nicolas (2017) Food in action. La pyramide alimentaire
142. Gunathilake Damitha et Parlons sciences (2019) Biocarburants : des sources d'énergie de remplacement.
143. Gylling H et Miettinen T.A (1994) Serum cholesterol and cholesterol and lipoprotein metabolism in hypercholesterolaemic NIDDM patients before and during sitostanol ester margarine treatment. *Diabetologia* 37 (8)
144. Hallikainen Maarit *et al.* (2011) Plant stanol esters lower LDL cholesterol level in statin-treated subjects with type 1 diabetes by interfering the absorption and synthesis of cholesterol. *Atherosclerosis* 217 (2)
145. Hathaway *et al.* (1991): Proctor and Hughes' chemical hazards of the workplace. 3rd ed. New York
146. Hellopro. Comparateur de couleur Gardner – colorimétrie
147. Hendriks Henk *et al.* (2003) Safety of long-term consumption of plant sterol esters-enriched spread. *European Journal of Clinical Nutrition* 57
148. Henok D *et al.* (2015) Extraction of omega-3-rich oil from *Camelina sativa* seed using supercritical carbon dioxide. *The journal of supercritical fluids* 104 Pages 153-159
149. Henry Jean Yves. Médecin généraliste, homéopathe et acupuncteur. Médecine Intégrée : Les huiles végétales
150. Hergert *et al.* (2016) Irrigation response and water productivity of deficit to fully irrigated spring camelina. *Agricultural Water Management* 177
151. Hitachi High Technologies America Inc (2009) Rapid Analysis Of Oligosaccharides on the Hitachi LaChromUltra[®] Liquid Chromatography System Using Refractive Index Detection
152. Hixson Stefanie *et al.* (2013) Effect of replacement of fish oil with camelina (*Camelina sativa*) oil on growth, lipid class and fatty acid composition of farmed juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Fish Physiology Biochemistry* 39
153. Hixson Stefanie *et al.* (2014) Full substitution of fish oil with camelina (*Camelina sativa*) oil, with partial substitution of fish meal with camelina meal, in diets for farmed

- Atlantic salmon (*Salmo salar*) and its effect on tissue lipids and sensory quality. *Food Chemistry* 157 (10)
154. Huang Yung-Sheng *et al.* (2004) Enzymes for transgenic biosynthesis of long-chain polyunsaturated fatty acids. *Biochimie* 86 (11)
155. Huilerie Emile Noël (2017) Fiche technique de l'huile végétale de cameline bio
156. Huilerie Emile Noël. Communiqué de presse (2018) « Huile vierge de cameline » BIO Emile Noël : une huile cultivée et pressée en France et riche en oméga 3, pour réveiller les salades printanières
157. Huiling (2019) Le temps des huiles : Guides des huiles
158. Hurtaud C et Peyraud J.L (2007) Effects of Feeding Camelina (Seeds or Meal) on Milk Fatty Acid Composition and Butter Spreadability. *Journal of Dairy Science* 90 (11) pages 5134-5145
159. IFP Energies Nouvelles : Quel avenir pour les biocarburants ?
160. Innis Sheila *et al.* (2014) Omega-3 fatty acid biochemistry: perspectives from Human nutrition. *Military Medicine* 179 (11)
161. Insee (Institut national de la statistique et des études économiques) (2016) Définitions SAU
162. Institut du végétal : Arvalis : parcelle atteinte de Jaunisse Nanisante de l'Orge (JNO)
163. Institut National de l'Origine et de la Qualité (2016) L'appellation d'origine protégée / L'appellation d'origine contrôlée
164. Institut National de Recherche et de Sécurité. Fiche toxicologique
165. IRIIS phytoprotection : Tabouret des champs
166. Joris. Les acides gras essentiels ω 3 et ω 6
167. Jossart Christian (2012) Le rôle et la régulation du pyroglutamylated RF-amide peptide dans le tissu adipeux lors de l'obésité. Thèse Université de Montréal
168. Journal Officiel de la République Française (2010) Arrêté du 12 juillet 2010 modifiant l'arrêté du 4 décembre 2008 fixant les conditions d'utilisation de l'huile de lin pour un usage alimentaire. JORF n°0166 du 21 juillet 2010, texte n°37, pp 13441
169. Journal officiel de l'Union Européenne Règlement d'exécution n°29/2012 de la commission du 13 janvier 2012 relatif aux normes de commercialisation de l'huile d'olive

170. Julien Pierre. Il y a des milliers d'années, l'huile... Il y a cent ans, la margarine....
In: *Revue d'histoire de la pharmacie*, 57^e année, n°202, 1969. pp. 430-432.
171. Juneau Martin (2016) Les bénéfiques du régime méditerranéen pour la santé cardiovasculaire. Observatoire de la prévention
172. K.A. McVay (2008) Camelina Production in Montana. Montana State University Extension
173. Karlsson Martin *et al.* (2006) Serum phospholipid fatty acids, adipose tissue, and metabolic markers in obese adolescents. *Obesity* 14 (11)
174. Karvonen Henna M *et al.* (2002) Effect of α -linolenic acid rich *camelina sativa* oil on serum fatty acid composition and serum lipids in hypercholesterolemic subjects. *Metabolism* 51 (10)
175. Katan Martijn B *et al.* (2003) Efficacy and safety of plant stanols and sterols in the management of blood cholesterol levels. *Mayo Clinic Proceedings* 78 (8)
176. Kerhoas *et al.* (2010) Le mode de production influence la composition lipidique de l'œuf. *Nutrition clinique et métabolisme* 24 (1)
177. KMEC : Spécialiste dans l'industrie huile et graisse : Produits : décortiqueuse à disque
178. Knörzer Karl-Heinz (1978) Entwicklung und Ausbreitung des Leindotters (*Camelina saliva*). *Plant Biology*
179. Korsia-Meffre Stéphane (2018) Risque cardiovasculaire et oméga-3 : résultats d'une méta-analyse Cochrane et de l'étude VITAL
180. Kramer J.K.G *et al.* (1992) Effects of dietary saturated fat on erucic acid induced myocardial lipodosis in rats. *Lipids* 27 (8)
181. L'internaute. Dictionnaire en ligne. Huile végétale
182. La ferme du Mont d'or : Les lentilles vertes
183. La nutrition (2017) La pyramide du régime méditerranéen
184. Lapierre Julie et St-Gelais Catherine (2013) L'indice d'iode de cinq huiles à différentes températures
185. Larousse. Dictionnaire en ligne
186. Larsson Mikael (2013) Cultivation and processing of *Linum usitatissimum* and *Camelina sativa* in southern Scandinavia during the Roman Iron Age. *Vegetation History and Archaeobotany* 22 (6)

187. Lartigot Isabelle (2019) Soja-cameline, meilleure association pour lutter contre le salissement. *La France agricole* n°3808
188. La société chimique de France (2017) Ressources / Caroténoïdes
189. Lawrence *et al.* (2016) Evaluation of camelina meal as a feedstuff for growing dairy heifers. *Journal of Dairy Science* 99 (8) pages 6215-6228
190. Le Galliard Cécile (2019) Infographie : Classification des huiles d'olive. *Jus d'olive magazine d'actualités*
191. Légifrance : Décret n° 2008-184 du 26 février 2008 portant application du code de la consommation en ce qui concerne les graisses et huiles comestibles
192. Le livre scolaire : Vase du V^e siècle avant J.-C., Musée Kanellopoulos Athènes
193. Le petit olivier : Coffret les essentiels Olive
194. Les calories : Huile végétale
195. Lin *et al.* (2013) Evidence of health benefits of canola oil. *Nutrition Review* 71 (6)
196. Liu Xiaoran *et al.* (2016) Effects of canola and high-oleic acid canola oils on abdominal fat mass in individuals with central obesity. *Obesity* 24 (11)
197. M.A. Berhow *et al.* (2014) Evaluating the phytochemical potential of Camelina: an emerging new crop of old-world origin. *Phytochemicals-Biosynthesis, Function and Application*. Volume 44 pp 129-148
198. Madigan Claire *et al.* (2000) Dietary Unsaturated Fatty Acids in Type 2 Diabetes: Higher levels of postprandial lipoprotein on a linoleic acid-rich sunflower oil diet compared with an oleic acid-rich olive oil diet. *Diabetes Care* 23 (10)
199. Magazine Ricardo. Patates douces rôties à l'huile de cameline
200. Maillard Aude (2016) Le grand guide de l'aromathérapie et des soins beauté naturels. Edition J'ai lu
201. Malhi S.S *et al.* (2014) Effect of nitrogen fertilizer application on seed yield, N Uptake, and seed quality of Camelina sativa. *Canadian Journal of Soil Science* 94
202. Manson JoAnn E *et al.* (2019) Marine n-3 Fatty Acids and Prevention of Cardiovascular Disease and Cancer. *The New England Journal of Medicine*
203. Mansour *et al.* (2014) Characterization of Oilseed lipids from "DHA-Producing Camelina sativa": A new transformed land plant containing long-chain omega-3 oils. *Nutrients* 6 (2)

204. Marchiolo Roberto *et al.* (2002) Early protection against sudden death by n-3 polyunsaturated fatty acids after myocardial infarction. Time-course analysis of the results of the GISSI-Prevenzione. *Circulation* 105 (16)
205. Marquard et Kuhlmann (1986) Untersuchungen über Ertragsleistung und Samenqualität von Leindotter (*Camelina sativa* Crtz.) *Fette Seifen Anstrichmittel* 88 (7)
206. Martin Kellie (2016) Cell Biology: Cell Compounds and Biological Molecules Lesson 3: Carbohydrates and Lipids
207. Maximo (2009) Gâteaux de Mamie. Edition Marabout. Le gâteau au yaourt page 12
208. Métroh m : Mesure de stabilité thermique : Rancimat
209. Micallef Michelle *et al.* (2009) Plasma n-3 polyunsaturated fatty acids are negatively associated with obesity. *British Journal of Nutrition* 102 (9)
210. Michot Norbert-Louis (1845) Flore du Hainaut, 421 pages
211. Ministère de l'agriculture canadien, de l'alimentation et des affaires rurales (2018) Découvrir de nouveaux aliments pour le bétail
212. Ministère de la transition écologique et solidaire (2020) Biocarburants
213. Moiroux Joffrey *et al.* (2018) Plant virus infection influences bottom-up regulation of a plant-aphid-parasitoid system. *Journal of Pest Science* 91 (1), pp.361-372
214. Moore *et al.* (2017) Biofuel blending reduces particle emissions from aircraft engines et cruise conditions. *Nature research journals*
215. Morice Jules Le métabolisme des lipoprotéines
216. Morin et Pagès-Xatart-Parès (2012) Huiles et corps gras végétaux : ressources fonctionnelles et intérêt nutritionnel *OCL* 19 (8) pp 63-75
217. Moser Bryan R et Vaughn Steven F. (2010) Evaluation of alkyl esters from *Camelina sativa* oil as biodiesel and as blend components in ultra low-sulfur diesel fuel. *Bioresource Technology* 101 (2)
218. Moslavac Thomas *et al.* (2014) Pressing and supercritical CO₂ extraction of *Camelina sativa* oil. *Industrial Crops and Products* 54
219. Mouillaud Gérard (2017) La couleur en pratique. *Auvergne Sciences* n°88
220. Mouvement pour une organisation mondiale de l'agriculture (2011) Chiffres-clés de l'agriculture

221. Mupondwa Edmund *et al.* (2016) Tecnoeconomic analysis of small-scale farmer-owned Camelina oil extraction as feedstock for biodiesel production: A case study in the Canadian prairies. *Industrial Crops and Products* 90
222. Netzsch : Détermination du temps ou de la température d'oxydation induit OIT ou OOT
223. Nguyen M.Nguyen *et al.* (2017) Maternal intake of high n-6 polyunsaturated fatty acid diet during pregnancy causes transgenerational increase in mammary cancer risk in mice. *Breast Cancer Research*
224. Noël Emile. Fabrication des huiles
225. Nutralica : Banque de données : DHA : Acide docosahexaénoïque
226. Nutri & Co Les oméga-3
227. Obour Augustine K *et al.* (2018) *Camelina sativa* as a fallow replacement crop in wheat-based crop production systems in the US Great Plains. *Industrial Crops and Products* 111
228. OLEAD : Les équipements : Technologie des graines
229. Ollivier *et al.* (2015) Analyse des lipides : Constituants mineurs, qualité et authenticité. Techniques de l'ingénieur
230. OSHA : toxicité de l'hexane
231. Paris Alexandra (2014), directrice communication et économie d'AFIDOL. Le marché de l'huile d'olive : actualités et perspectives
232. Paris Alexandra (2017), directrice communication et économie d'AFIDOL. Le marché de l'huile d'olive en France
233. Passion céréales : Les protéines de blé, une ressource nutritionnelle et stratégique
234. Pawlosky J.Robert *et al.* (2001) Physiological compartmental analysis of α -linolenic acid metabolism in adult humans. *The journal of Lipid Research* 42
235. Peiretty PG *et al.* (2007) Use of different levels of false flax (*Camelina sativa L.*) seed in diets for fattening rabbits. *Livestock Science* 107 (2-3)
236. Pelin Günç Ergönül et Zeynep Aksoylu Ozbek (2018) Identification of bioactive compounds and total phenol contents of cold pressed oils from safflower and camelina seeds. *Journal of Food Measurement and Characterization* 12 (4)

237. Peyronnet Corinne *et al.* (2012) Impact du décorticage du tournesol sur la valeur nutritionnelle et l'intérêt économique des tourteaux en fabrication d'aliments composés *OCL* 19 (6)
238. Poiraud Jérôme Naturopathe (2017) L'alimentation végétale en pratique
239. Poudyal Hemant *et al.* (2011) Omega-3 fatty acids and metabolic syndrome: effects and emerging mechanisms of action. *Progress in lipid research* 50 (4)
240. Pranarom (2019) Formation interne à la pharmacie de Lessay
241. Primevère : Cholestérol et matières grasses
242. Programme National Nutrition Santé. L'huile de colza, de noix et d'olive
243. Promesse de fleurs : Plantes de jardin : *Helianthus annuus*
244. Raczyk Marianna *et al.* (2016) Physicochemical quality and oxidative stability of linseed (*Linum usitatissimum*) and camelina (*Camelina sativa*) cold-pressed oils from retail outlets. *European Journal Lipid Science Technology* 118 (5)
245. Razeq Fakhria M. (2014) Extracellular lipids of *Camelina sativa*: Characterization of chloroform-extractable waxes from aerial and subterranean surfaces. *Photochemistry* 106
246. Regis Jennifer *et al.* (2016) Impact des procédés de fabrication des huiles végétales sur les micronutriments d'intérêt. *Lipid' Nutri +* 29
247. Règlement CE n°852/2004 du Parlement Européen et du conseil du 29 avril 2004 relatif à l'hygiène des denrées alimentaires
248. Rendu Yvon (1995) Centre de Recherche pour l'étude et l'observation des conditions de vie La cuisine au beurre et la cuisine à l'huile
249. Renoult Julien (2016) The colors of Life
250. Rigny Paul (2010) La chimie et l'art. EDP Sciences
251. Rode Janko (2002) Study of Autochthon *Camelina sativa* (L.) Crantz in Slovenia. *Journal of Herbes Spices & Medicinal Plants* 4
252. Rokka.T *et al.* (2002) The effect of *Camelina sativa* enriched diet on the composition and sensory quality of hen eggs. *Food Research International* 35 (2-3)
253. Roux Emeline (2004) Les oléosines, de nouveaux émulsifiants d'origine végétale. Comparaison des globules lipidiques extraits de végétaux (*A. thaliana*) et de levures (*Y. lipolytica*). Biologie végétale. Institut national agronomique Paris-Grignon
254. Royal Society of Chemistry. ChemSpider Structure

255. Saedi Sedigheh *et al.* (2017) How canola and sunflower oils affect lipid profile and anthropometric parameters of participants with dyslipidemia. *Medical Journal of the Islamic Republic of Iran* 31 (5)
256. Sáez-Bastante *et al.* (2015) Ultrasound-assisted biodiesel production from *Camelina sativa* oil. *Bioresource Technology* 185
257. Sampath Anusha (2009) Chemical Characterization of camelina seed oil. University of New Jersey
258. Sanae Bouhsain. Cours de biochimie métabolique
259. Sancoil : Produit : Tourteaux de cameline
260. Santé Publique France (2017) Etude ESTEBAN 2014-2016 Chapitre corpulence : stabilisation du surpoids et de l'obésité chez l'enfant et l'adulte
261. Savoie Raphaëlle (2008) Etude multi-échelles de la séparation solide - liquide dans la trituration du lin oléagineux. Thèse à l'université de Technologie de Compiègne
262. Savonnerie Fer à Cheval : Histoire du savon de Marseille
263. Schwab Ursula S. *et al.* (2017) Camelina Sativa Oil, but not Fatty Fish or Lean Fish, Improves Serum Lipid Profile in Subjects with Impaired Glucose Metabolism—A Randomized Controlled Trial. *Molecular Nutrition & Food Research* 62 (4)
264. Schwartz Heidi *et al.* (2008) Tocopherol, tocotrienol and plant sterol contents of vegetable oils and industrial fats. *Journal of Food Composition and Analysis* 21 (2)
265. Sécurité publique du Québec : En cuisine, chaque huile et graisse a son utilisation !
266. Séjourné César (2009) Mécanismes d'action des phytostérols au niveau intestinal. *Cahiers de nutrition et de diététique* 44 (3)
267. Semences de France : Résultats lin oléagineux printemps 2016
268. Shukla V.K.S *et al.* (2002) Camelina Oil and Its Unusual Cholesterol Content. *JAOCS* 79 (10)
269. Skalli Saadia *et al.* (2009) Traitement du diabète de type 2 : pourquoi les glitazars n'ont-ils pas été introduits sur le marché ? *Médecine des maladies métaboliques* 3 (4) Pages 406-411
270. Solis Alejandro *et al.* (2013) Camelina seed yield response to nitrogen, sulfur and phosphorus fertilizer in South Central Chile. *Industrial Crops and Products* 44
271. Soult Allison. Cours sur les lipides et triglycérides à l'université du Kentucky

272. Statista. Consommation mondiale d'huiles végétales de 2013/14 à 2016/27, par type d'huile (en millions de tonnes métriques)
273. Sturm Jacob et Sturm Johann Georg (1796) Deutschlands Flora in Abbildungen
274. Syndicat National des Compléments Alimentaires : Les compléments alimentaires
275. Système canadien de classification des sols (1987)
276. Szterk Arkadiusz *et al.* (2010) Chemical Composition and Oxidative Stability of Selected Plant Oils. *Journal of the American Oil Chemists's Society* 87 (6)
277. Tag my food : Bien choisir son huile
278. Takween : Métabolisme : Acide gras bêta-oxydation
279. Taranu Ionelia *et al.* (2014) ω -3 PUFA Rich Camelina Oil By-Products Improve the Systemic Metabolism and Spleen Cell Functions in Fattening Pigs. *Plos One* 9 (10)
280. Tasan M *et al.* (2011) Effects of storage and industrial oilseed extraction methods on quality and stability characteristics of crude sunflower oil (*Helianthus annuus L.*). *Grassas y aceites* 62 (4)
281. Taupin Pierre (2007) Viroses sur céréales transmises par les insectes. *Perspectives agricoles* 338
282. Teillet Benoît *et al.* (2013) Influence du taux d'acide alpha-linolénique de l'aliment sur la teneur en ω 3 et les caractéristiques hédoniques de la viande de lapin. *Revue bibliographique. OCL* 20 (1)
283. Terres Inovia (2017) Guide de culture : le lin oléagineux
284. Terres Univia Alimentation animale
285. Terres Univia (2009) Le lin : une graine riche en oméga 3 : les débouchés
286. Terres Univia (2017) Chiffres clés : oléagineux et plantes riches en protéines
287. Terres Univia (2017) Plan de filière 2018-2022 : Pour répondre aux choix sociétaux et aux attentes alimentaires et contribuer à la souveraineté alimentaire du pays
288. Terres Univia Etude Opinion Way « Les Français et l'huile végétale »
289. Terres Univia. France. Huiles végétales. Consommation
290. Terres Univia : Les espèces cultivées : l'olive
291. Terres Univia : Les espèces cultivées : le colza
292. Terres Univia : Les espèces cultivées : le lin
293. Terres Univia : Les espèces cultivées : le tournesol
294. Terres Univia. Schéma de production des tourteaux d'oléagineux

295. Three farmers. Procédé de fabrication de l'huile de cameline
296. Tiers Nathalie (2020) Légumineuses : les petites graines qui montent. *Ouest-France*
297. Toulemonde Françoise et al (2010) *Camelina sativa* : l'or végétal du Bronze et du Fer. Anthropobotanica Publications scientifiques du Muséum national d'histoire naturelle
298. Tramier (2014) 1001 Variétés d'olives, les connaissez-vous ?
299. Tramier : Le monde de l'olive
300. Tressou-Cosmao Jessica *et al.* (2015) Analyse des apports nutritionnels en acide gras de la population française à partir des données INCA 2
301. Trouvé Jean-Paul (sélectionneur). Le lin côté nature. On ne peut pas faire lin sans l'homme
302. Tutorat Santé de Tours
303. Université de Liège : Lutte contre les pucerons vecteurs de la jaunisse nanisante
304. Université de Namur: dico: Amidon
305. Université de Rennes (2018) La structure des lipides
306. Université de Strasbourg : Le dictionnaire de l'Académie nationale de Pharmacie
307. Urbaniak S.D *et al.* (2008) The effect of seeding rate, seeding date and seeder type on the performance of *Camelina sativa* L. in the Maritime Provinces of Canada. *Canadian Journal of Plant Science* 88 (3)
308. Végétaline : Sujets de biologie : Transformation des aliments à la cuisson
309. Vigean: Guides des huiles
310. Vigean maître huilier Etiquette de l'huile vierge de cameline, première pression à froid en 25 cl
311. Villemin Gérard. Préhistoire & protohistoire
312. Violi *et al.* (2015) Extra virgin olive oil use is associated with improved post-prandial blood glucose and LDL cholesterol in healthy subjects. *Nutrition & Diabetes*
313. Voisin-Chiret AS (2015) Cours sur les vitamines à l'université de Caen
314. Vollmann Johann *et al.* (2007) Agronomic evaluation of camelina genotypes selected for seed quality characteristics. *Industrial Crops and Products* 26 (3)
315. Wafa Dridi (2016). Influence de la formulation sur l'oxydation des huiles végétales en émulsion eau dans huile. Chimie-Physique Université de Bordeaux
316. Waraich Ejaz Ahmad *et al.* (2013) *Camelina sativa*, a climate proof crop, has high nutritive value and multiple-uses: a review. *Australian Journal of Crop Science* 7 (10)

317. Weill P *et al.* Introduction de graines de lin cuites dans du pain. Effets sur les paramètres lipidiques sanguins de consommateurs réguliers de pain
318. Welter Marc (2015) Beurre de sardine. Blog sans gluten
319. Winfo nutrition (Association des nutritionnistes) Fabrication et obtention des huiles végétales
320. Winqvist *et al.* (2011) Mixed effects of organic farming and landscape complexity on farmland biodiversity and biological control potential across Europe. *Journal of Applied Ecology*, 48
321. Yeates *et al.* (2015) Genetic variation in *FADS* genes is associated with maternal long chain PUFA status but not with cognitive development of infants in a high fish eating observation study. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids* Volume 102-103
322. Yedikardachian Claudine (2019) Acide érucique : nouvelles teneurs maximales dans les huiles et graisses et la moutarde
323. Yokoyama Mitsuhiro *et al.* (2007) Effects of eicos-pentaenoic acid on major coronary events in hypercholesterolaemic patients (JELIS): a randomised open-label, blinded endpoint analysis *The Lancet* 369 (9567)
324. Zanetti Federica *et al.* (2017) Agronomic performance and seed quality attributes of Camelina (*Camelina sativa* L.crantz) in multi-environment trials across Europe and Canada. *Industrial Crops and Products* 107
325. Zediet (2009) Importance des acides gras oméga-3 et oméga-6
326. Zeste vert (2018) Tableau, quelle huile végétale est comédogène ou pas ?
327. Zitoun Terki Seloua (2017) Evaluation de la résistance à l'oxydation des huiles et graisse de consommation par test de Swift
328. Zubr Josef (2009) Unique dietary oil from *Camelina sativa* seed. *Agro Food Industry Hi Tech* 20 (2)
329. Zubr Josef (2010) Carbohydrates, vitamins and minerals of *Camelina sativa* seed. *Nutrition & Food Science* 40 (5)
330. Zubr J et Matthäus B (2002) Effects of growth conditions on fatty acids and tocopherols in *Camelina sativa* oil. *Industrial Crops and Products* 15 (2)

VII. Annexes

Annexe n°1 : Tableaux extrait du rapport de l'ANSES

Tableau 43. Apports journaliers moyens en énergie, macronutriments et acides gras, chez les enfants de 0 à 10 ans (n=1 025)

	Moyenne	Ecart-type	Médiane
Energie totale-AET (kcal/j)	1 504,5	483,2	1 452,8
Energie sans alcool-AESA (kcal/j)	1 504,2	483,1	1 451,6
PROTEINES (g/j)	55,3	20,0	55,2
GLUCIDES DISPONIBLES (g/j) ¹	187,5	64,1	180,7
Sucres (g/j)	99,1	29,9	94,8
Amidon (g/j)	73,5	40,3	68,5
Fibres (g/j)	13,2	4,7	13,0
Acides organiques (g/j)	3,1	2,0	2,9
LIPIDES (g/j) ¹	55,5	20,1	54,0
AGS (g/j) ¹	25,0	9,5	24,2
Acide palmitique (g/j)	11,8	4,4	11,2
Acide stéarique (g/j)	4,5	1,9	4,3
Acide myristique (g/j)	2,5	1,0	2,4
Acide laurique (g/j)	1,2	0,7	1,1
Acide caprique (g/j)	0,7	0,3	0,6
Acide butyrique (g/j)	0,7	0,3	0,6
Acide caproïque (g/j)	0,5	0,2	0,4
Acide caprylique (g/j)	0,4	0,2	0,3
AGMI (g/j) ¹	18,4	7,1	17,4
Acide oléique (g/j)	15,9	6,3	14,8
AGPI (g/j) ¹	6,5	2,7	6,1
Acide linoléique (g/j)	4,9	2,1	4,5
Acide alpha-linolénique (g/j)	0,7	0,4	0,6
AA (mg/j)	68,9	39,9	63,4
EPA (mg/j)	58,1	75,3	34,5
DHA (mg/j)	85,7	133,2	43,1
Alcool (g/j)	0,0	0,2	0,0
Eau (g/j)	1 373,6	457,1	1 297,8

¹ Des écarts peuvent être observés pour les glucides disponibles et pour les lipides entre la somme des constituants détaillés dans le tableau et la valeur du constituant total, cf. p 151

Source : Etude INCA3 (2014-2015), traitement Anses

Tableau 45. Apports journaliers moyens en énergie, macronutriments et acides gras, chez les adolescents de 11 à 17 ans (n=949)

	Moyenne	Ecart-type	Médiane
Energie totale-AET (kcal/j)	1 974,0	688,4	1 889,8
Energie sans alcool-AESA (kcal/j)	1 972,7	687,2	1 889,8
PROTEINES (g/j)	76,7	25,1	72,2
GLUCIDES DISPONIBLES (g/j) ¹	244,5	90,3	231,5
Sucres (g/j)	104,5	42,9	98,2
Amidon (g/j)	121,7	53,0	114,2
Fibres (g/j)	17,1	7,1	16,5
Acides organiques (g/j)	3,3	2,2	3,0
LIPIDES (g/j) ¹	71,7	30,2	67,3
AGS (g/j) ¹	30,5	13,2	29,0
Acide palmitique (g/j)	14,7	6,2	14,1
Acide stéarique (g/j)	5,8	3,2	5,3
Acide myristique (g/j)	2,8	1,3	2,6
Acide laurique (g/j)	1,2	0,7	1,1
Acide caprique (g/j)	0,8	0,4	0,7
Acide butyrique (g/j)	0,8	0,4	0,7
Acide caproïque (g/j)	0,5	0,3	0,5
Acide caprylique (g/j)	0,4	0,2	0,4
AGMI (g/j) ¹	24,3	11,6	22,5
Acide oléique (g/j)	20,8	10,3	19,2
AGPI (g/j) ¹	9,2	4,3	8,2
Acide linoléique (g/j)	6,8	3,3	6,2
Acide alpha-linolénique (g/j)	0,9	0,6	0,7
AA (mg/j)	100,5	55,1	89,3
EPA (mg/j)	92,8	128,0	43,8
DHA (mg/j)	146,4	230,7	56,9
Alcool (g/j)	0,2	1,2	0,0
Eau (g/j)	1 721,4	617,1	1 631,1

¹ Des écarts peuvent être observés pour les glucides disponibles et pour les lipides entre la somme des constituants détaillés dans le tableau et la valeur du constituant total, cf. p 151

Source : Etude INCA3 (2014-2015), traitement Anses

Tableau 60. Apports journaliers moyens en énergie, macronutriments et acides gras, chez les adultes de 18 à 79 ans (n=2 121)

	Moyenne	Ecart-type	Médiane
Energie totale-AET (kcal/j)	2114,4	781,4	2023,2
Energie sans alcool-AESA (kcal/j)	2028,5	727,7	1955,5
PROTEINES (g/j)	83,2	30,3	79,2
GLUCIDES DISPONIBLES (g/j) ¹	240,1	97,2	227,9
Sucres (g/j)	95,1	46,2	88,6
Amidon (g/j)	123,4	60,7	112,0
Fibres (g/j)	19,6	7,4	18,9
Acides organiques (g/j)	4,0	2,5	3,5
LIPIDES (g/j) ¹	76,2	31,7	72,0
AGS (g/j) ¹	32,4	15,0	30,2
Acide palmitique (g/j)	15,4	7,0	14,5
Acide stéarique (g/j)	5,9	3,0	5,3
Acide myristique (g/j)	3,3	1,8	3,0
Acide laurique (g/j)	1,3	0,9	1,2
Acide caprique (g/j)	0,9	0,6	0,8
Acide butyrique (g/j)	0,9	0,5	0,8
Acide caproïque (g/j)	0,6	0,4	0,5
Acide caprylique (g/j)	0,5	0,3	0,4
AGMI (g/j) ¹	25,9	11,4	24,1
Acide oléique (g/j)	21,7	9,8	20,2
AGPI (g/j) ¹	9,8	4,7	9,0
Acide linoléique (g/j)	7,0	3,6	6,4
Acide alpha-linolénique (g/j)	1,0	0,6	0,8
AA (mg/j)	119,6	65,5	107,9
EPA (mg/j)	117,3	169,7	50,8
DHA (mg/j)	169,2	252,1	65,1
Alcool (g/j)	12,3	27,5	2,5
Eau (g/j)	2488,3	828,0	2391,0

¹ Des écarts peuvent être observés pour les glucides disponibles et pour les lipides entre la somme des constituants détaillés dans le tableau et la valeur du constituant total, cf. p 151

Source : Etude INCA3 (2014-2015), traitement Anses

Annexe n°2 : Score IPSS : International Prostate Score Symtom

<https://www.urofrance.org/fileadmin/medias/scores/score-IPSS.pdf>

IPSS : International Prostate Score Symptom							
	Jamais	Environ 1 fois sur 5	Environ 1 fois sur 3	Environ 1 fois sur 2	Environ 2 fois sur 3	Presque toujours	
Au cours du dernier mois, avec quelle fréquence avez vous eu la sensation que votre vessie n'était pas complètement vidée après avoir uriné ?	0	1	2	3	4	5	<input type="checkbox"/>
Au cours du dernier mois, avec quelle fréquence avez vous eu besoin d'uriner moins de 2 heures après avoir fini d'uriner ?	0	1	2	3	4	5	<input type="checkbox"/>
Au cours du dernier mois, avec quelle fréquence avez vous eu une interruption du jet d'urine c'est à dire démarrage de la miction puis arrêt puis redémarrage ?	0	1	2	3	4	5	<input type="checkbox"/>
Au cours du dernier mois, après avoir ressenti le besoin d'uriner, avec quelle fréquence avez vous eu des difficultés à vous retenir d'uriner ?	0	1	2	3	4	5	<input type="checkbox"/>
Au cours du dernier mois, avec quelle fréquence avez vous eu une diminution de la taille ou de la force du jet d'urine ?	0	1	2	3	4	5	<input type="checkbox"/>
Au cours du dernier mois, avec quelle fréquence avez vous dû forcer ou pousser pour commencer à uriner ?	0	1	2	3	4	5	<input type="checkbox"/>
	Jamais	1 fois	2 fois	3 fois	4 fois	5 fois	
Au cours du dernier mois écoulé, combien de fois par nuit, en moyenne, vous êtes-vous levé pour uriner (entre le moment de votre coucher le soir et celui de votre lever définitif le matin ?	0	1	2	3	4	5	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> • 0 – 7 = léger • 8 – 19 = modéré • 20 – 35 = sévère 						Total = IPSS :	<input type="checkbox"/>

Évaluation de la qualité de vie liée aux symptômes urinaires								
	Très satisfait	Satisfait	Plutôt satisfait	Partagé (ni satisfait, ni ennuyé)	Plutôt ennuyé	Ennuyé	Très ennuyé	
Si vous deviez vivre le restant de votre vie avec cette manière d'uriner, diriez-vous que vous en seriez :	0	1	2	3	4	5	6	<input type="checkbox"/>

Annexe n°3 : Les normes internationales

NORME INTERNATIONALE ISO 660:2009(F)

FA158625

ISSN 0335-3931

norme européenne

NF EN ISO 660

Septembre 2009

norme française

Indice de classement : T 60-204

ICS : 67.200.10

Corps gras d'origines animale et végétale

Détermination de l'indice d'acide et de l'acidité

E : Animal and vegetable fats and oils — Determination of acid value and acidity
D : Tierische und pflanzliche Fette und Öle — Bestimmung der Säurezahl und der Azidität

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie trois méthodes (deux titrimétriques et une potentiométrique) pour la détermination de l'acidité dans les corps gras d'origines animale et végétale dits corps gras. L'acidité est exprimée, de préférence, en indice d'acide ou bien en acidité calculée conventionnellement.

La présente Norme internationale est applicable aux corps gras d'origines végétale ou animale à l'état brut ou raffinés, aux acides gras des pâtes de neutralisation ou aux acides gras de qualité technique. Ces méthodes ne sont pas applicables aux cires.

Ces méthodes ne sont en aucun cas spécifiques, elles ne peuvent donc pas être utilisées pour différencier les acides minéraux, les acides gras libres et autres acides organiques. De ce fait, l'indice d'acide inclut tout acide minéral potentiellement présent.

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

3.1

indice d'acide

nombre de milligrammes d'hydroxyde de potassium nécessaires pour neutraliser les acides gras libres présents dans 1 g de corps gras, déterminé conformément au mode opératoire spécifié dans la présente Norme internationale

NOTE L'indice d'acide est exprimé en milligrammes par gramme.

3.2

acidité

teneur en acides gras libres déterminée conformément au mode opératoire spécifié dans la présente Norme internationale

NOTE L'acidité est exprimée en pourcentage en masse. Si le résultat reporté de la détermination indique simplement «acidité» sans autre précision, cela signifie, par convention, l'acidité basée sur la teneur en acide oléique.

6 Appareillage

Matériel courant de laboratoire et, en particulier, ce qui suit.

6.1 **Burette**, d'une capacité de 10 ml, graduée tous les 0,02 ml, ISO 385⁽¹⁾ classe A.

6.2 **Burette**, d'une capacité de 25 ml, graduée tous les 0,05 ml, ISO 385⁽¹⁾ classe A.

6.3 **Balance analytique**, pouvant être lue à 0,001 g près.

6.4 **Appareil de titrage automatique**, (basé sur une électrode potentiométrique) ou potentiomètre.

6.5 **Électrode de pH combinée**, pour les titrages acide-base non aqueux.

6.6 **Fioles jaugées**, d'un volume de 1 000 ml, ISO 1042⁽²⁾ classe A.

9 Mode opératoire

9.1 Méthode au solvant à froid utilisant un indicateur (Méthode de référence)

9.1.1 Suivant l'estimation de la valeur présumée de l'indice d'acide, choisir la masse de la prise d'essai et la concentration d'alcali conformément au Tableau 1.

9.1.2 Conformément au Tableau 1, peser la prise d'essai dans une fiole conique de 250 ml.

9.1.3 Ajouter 50 ml à 100 ml du mélange de solvant neutralisé (5.3) et dissoudre la prise d'essai si nécessaire en chauffant légèrement.

Dans le cas d'échantillons à point de fusion élevé, utiliser un mélange d'éthanol et de toluène.

9.1.4 Après avoir ajouté un indicateur (5.6, 5.7 ou 5.8), titrer en agitant constamment à l'aide d'une solution titrée d'hydroxyde de potassium (5.5). Le point final du titrage est atteint lorsque l'ajout d'une seule goutte d'alcali provoque un changement de couleur net même s'il est léger, persistant durant au moins 15 s.

Tableau 1 — Masses des prises d'essai et concentrations d'alcali

Groupe de produits (exemples)	Indice d'acide approximatif	Masse de la prise d'essai g	Concentration de KOH mol/l	Exactitude de pesée de la prise d'essai g
Corps gras raffinés d'origine végétale	0 à 1	20	0,1	0,05
Corps gras d'origine animale				
Corps gras à l'état brut d'origine végétale	1 à 4	10	0,1	0,02
Corps gras d'origine animale de qualité technique	4 à 15	2,5	0,1	0,01
Acides gras des pâtes de neutralisation	15 à 75	0,5 3,0	0,1 0,5	0,001
Acides gras de qualité technique	> 75	0,2 1,0	0,1 0,5	0,001

4 Principe

Mise en solution d'un échantillon dans un mélange adapté de solvants, puis titrage des acides présents avec une solution éthanolique ou méthanolique d'hydroxyde de potassium ou de sodium.

Les méthodes spécifiées en 9.1 et 9.2 sont des méthodes de référence.

5 Réactifs

AVERTISSEMENT — L'attention est attirée sur les réglementations qui s'appliquent à la manipulation de substances dangereuses. Des mesures de sécurité d'ordre technique, organisationnel et personnel doivent être suivies.

Utiliser uniquement des réactifs de qualité analytique reconnue, sauf spécifications contraires.

5.1 **Solvant A utilisé pour le mélange de solvants (5.3)**, éthanol, fraction volumique $\varphi = 96\%$.

Le propanol-2 de fraction massique $\varphi = 99\%$ environ peut être utilisé en remplacement.

5.2 **Solvant B utilisé pour le mélange de solvants (5.3)**, éther diéthylique, exempt de peroxydes.

En remplacement, le tert-butylméthyléther, l'éther de pétrole (plage d'ébullition de 40 °C à 60 °C) ou le toluène peuvent également être utilisés.

AVERTISSEMENT — L'éther diéthylique est très inflammable et peut former des peroxydes explosifs. Son utilisation requiert des précautions particulières.

5.3 **Mélange de solvants**, mélangeur des volumes égaux des solvants A et B (par exemple $\varphi_A = 50$ ml/100 ml et $\varphi_B = 50$ ml/100 ml)

Dans le cas de graisse animale ou de corps gras solide, un mélange d'un volume de solvant A (par exemple 25 ml) et de trois volumes de tert-butylméthyléther ou de toluène (par exemple 75 ml) est recommandé.

Neutraliser, juste avant l'emploi, avec une solution d'hydroxyde de potassium en présence de 0,3 ml de solution de phénolphaléine pour 100 ml de mélange de solvants.

Pour le titrage en milieu KOH aqueux, le solvant propanol-2 peut être utilisé.

5.4 **Éthanol ou méthanol**, de fraction volumique minimale $\varphi = 95\%$.

5.5 **Hydroxyde de sodium ou hydroxyde de potassium**, solutions volumétriques titrées d'éthanol ou de méthanol, concentration en substance $c(\text{NaOH})$ ou $c(\text{KOH}) = 0,1$ mol/l et 0,5 mol/l. La concentration doit être vérifiée avec une solution volumétrique titrée de HCl.

NOTE La solution éthanolique ou méthanolique d'hydroxyde de potassium/sodium peut être remplacée par une solution d'hydroxyde de sodium ou de potassium aqueuse, uniquement si le volume d'eau introduit ne provoque pas une séparation de phase.

5.6 **Phénolphaléine**, solution dans l'éthanol de concentration massique $\rho = 1$ g/100 ml.

5.7 **Thymolphaléine**, solution dans l'éthanol de concentration massique $\rho = 2$ g/100 ml.

5.8 **Bleu alcalin 6B**, solution dans l'éthanol de concentration massique $\rho = 2$ g/100 ml.

Dans le cas de corps gras de couleur sombre, la thymolphaléine ou le bleu alcalin doivent être utilisés.

5.9 **Eau**, de qualité 3, conformément à l'ISO 3696.

10 Calcul

Consigner l'indice d'acide, w_{AV} , ou la teneur en acides gras libres, w_{FFA} , comme suit:

- à deux décimales pour les valeurs de 0 jusqu'à et y compris 1;
- à une décimale pour les valeurs de 1 jusqu'à et y compris 100;
- en nombre entier pour les valeurs supérieures à 100.

En complément des calculs suivants, la teneur approximative en acides gras libres (acidité) est calculée à partir de:

$$w_{FFA} = 0,5 \times w_{AV}$$

10.1 Indice d'acide

L'indice d'acide, w_{AV} , exprimé en fraction massique est égal à

$$w_{AV} = \frac{56,1 \times c \times V}{m}$$

où

c est la concentration exacte, en moles par litre, de la solution titrée d'hydroxyde de sodium ou de potassium utilisée;

V est le volume, en millilitres, de la solution titrée d'hydroxyde de sodium ou de potassium utilisée;

m est la masse, en grammes, de la prise d'essai.

11 Fidélité

Les détails des essais interlaboratoires sont résumés dans l'Annexe A. Les valeurs provenant de ces essais ne peuvent être appliquées aux plages de concentration et aux matrices autres que celles données.

11.1 Répétabilité

La différence absolue entre deux résultats d'essai individuels indépendants, obtenus à l'aide de la même méthode sur un matériau identique soumis à essai dans le même laboratoire par le même opérateur utilisant le même appareillage et dans un court intervalle de temps, ne doit pas excéder dans plus de 5 % des cas les valeurs indiquées dans les Tableaux A.1 à A.3.

11.2 Reproductibilité

La différence absolue entre deux résultats d'essai individuels, obtenus à l'aide de la même méthode sur un matériau identique soumis à essai dans des laboratoires différents par des opérateurs différents utilisant des appareillages différents, ne doit pas excéder dans plus de 5 % des cas les valeurs indiquées dans les Tableaux A.1 à A.3.

12 Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit contenir au moins les informations suivantes:

- toute information nécessaire à l'identification complète de l'échantillon;
- une référence à la présente Norme internationale;
- le(s) résultat(s) d'essai obtenu(s), en spécifiant clairement le mode d'expression utilisé;
- les conditions opératoires non spécifiées dans la présente Norme internationale, ou considérées comme facultatives.

INTERNATIONAL
STANDARD

ISO
3960

Fourth edition
2007-07-15

Corrected version
2009-05-15

Animal and vegetable fats and oils —
Determination of peroxide value —
Iodometric (visual) endpoint
determination

Corps gras d'origines animale et végétale — Détermination de l'indice
de peroxyde — Détermination avec point d'arrêt iodométrique



Reference number
ISO 3960:2007(E)

© ISO 2007



norme européenne
norme française

NF EN ISO 3960
Juin 2010

Indice de classement : T 60-220

ICS : 67.200.10

Corps gras d'origines animale et végétale Détermination de l'indice de peroxyde

Détermination avec point d'arrêt iodométrique

E : Animal and vegetable fats and oils — Determination of peroxide value —
Iodometric (visual) endpoint determination
D : Tierische und pflanzliche Fette und Öle — Bestimmung der Peroxidzahl —
Iodometrische (visuelle) Endpunktbestimmung

Norme française homologuée

par décision du Directeur Général d'AFNOR le 19 mai 2010 pour prendre effet
le 19 juin 2010.

Remplace la norme homologuée NF EN ISO 3960, de janvier 2009.

Correspondance

La Norme européenne EN ISO 3960:2010 a le statut d'une norme française
et reproduit intégralement la Norme internationale ISO 3960:2007, version
corrigée 2009-05-15.

Analyse

Le présent document spécifie une méthode de détermination iodométrique
de l'indice de peroxyde, compris entre 0 meq et 30 meq d'oxygène actif
par kilogramme.

Il s'agit de dissoudre l'échantillon dans de l'iso-octane et de l'acide acétique glacial,
puis d'ajouter de l'iodure de potassium. La détermination de l'iode libéré par
les peroxydes se réalise à l'aide d'un indicateur à l'amidon et d'une solution étalon
de thiosulfate de sodium.

Le présent document s'applique à tous les corps gras d'origines animale et végétale,
mais ne convient pas pour les matières grasses présentes dans le lait et
ne s'applique pas aux lécithines.

Descripteurs

Thésaurus International Technique : corps gras animal, corps gras végétal,
analyse chimique, dosage, indice de peroxyde, fidélité.

Modifications

Par rapport au document remplacé, corrections éditoriales.

Corrections

Édité et diffusé par l'Association Française de Normalisation (AFNOR) — 11, rue Francis de Pressensé — 93571 La Plaine Saint-Denis Cedex
Tél. : + 33 (0)1 41 62 60 00 — Fax : + 33 (0)1 49 17 90 00 — www.afnor.org

© AFNOR 2010

AFNOR 2010

1^{er} tirage 2010-06-P



Corps gras d'origines animale et
végétale — Détermination de l'indice
de saponification

Animal and vegetable fats and oils — Determination of
saponification index



Annexe n°4 : Liste des allergènes

Extrait de la directive cosmétique 76/768/CE

Amyl cinnamal	Eugenol
Amylcinnamyl alcohol	Farnesol
Anisyl alcohol	Geraniol
Benzyl alcohol	Hexyl cinnamaldéhyde
Benzyl benzoate	Hydroxycitronellal
Benzyl cinnamate	Hydroxymethyl-pentylcyclo- hexenecarboxaldéhyde
Benzyl salicylate	Isoeugenol
Cinnamyl alcohol	Lilial
Cinnamal	D-limonène
Citral	Linalool

Citronellol	Methyl heptine carbonate
Coumarin	3-méthyl-4-(2,6,6-triméthyl-2-cyclohexen-1-yl)-3-butène-2-one

Liste des figures

Figure n°1 : Etymologie du mot « huile » par Mme Laporte Wojcik Catherine et LS..	15
Figure n°2 : Différentes citations par le dico-Citations (97)	15
Figure n°3 : Les différentes périodes historiques d'utilisation des huiles à partir de Julien Pierre (170) et Abbaye de Chaalis Institut de France (4)	16
Figure n°4 : Composition panoramique des corps gras et importance relative des principales classes de composés d'après Morin et Pagès-Xatart-Parès (216)	18
Figure n°5 : Structure d'un oléosome par Savoie Raphaëlle (261)	19
Figure n°6 : Fabrication des huiles végétales d'après le protocole de l'huilerie Emile Noël (224)	21
Figure n°7 : Organigramme du procédé de pressage de graines oléagineuses d'après Terres Univia (294)	22
Figure n°8 : Décortiqueur à disque d'après KMEC (177).....	22
Figure n°9 : Décortiqueur à couteaux à deux parties d'après Aboutayeb R (5)	23
Figure n°10 : Exemple de décortiqueur multichocs type Ripple mill par Arvalis Cetiom Infos (34)	23
Figure n°11 : Broyeurs à cylindres lisses et broyeurs à cylindres cannelés par Cloutier Michel (77)	24
Figure n°12 : Le nombre de kg de tourteaux et d'huile raffinée dans une tonne d'après Terres Univia (284).....	25
Figure n°13 : Système discontinu d'extraction par pression d'après Chimi Hammadi (72).....	26
Figure n°14 : Système continu d'extraction avec centrifugation à 3 phases d'après Chimi Hammadi (72).....	26
Figure n°15 : Système continu d'extraction avec centrifugation à 2 phases d'après Chimi Hammadi (72).....	26
Figure n°16 : Exemple de chaine continue d'extraction d'huile d'olive d'après Chimi Hammadi (72).....	27
Figure n°17 : Le « solvant idéal » d'après le guide des bonnes pratiques et de l'éco-extraction de France AgriMer (124)	28
Figure n°18 : Les étapes nécessaires avant l'extraction au solvant.....	28

Figure n°19 : Structure linéaire de l'hexane (C ₆ H ₁₄) d'après la Royal Society of Chemistry (254).....	29
Figure n°20 : Les dangers du n-hexane d'après l'INRS (164).....	30
Figure n°21 : L'extraction au solvant d'après Winfo nutrition (319)	31
Figure n°22 : Diagramme de phase par Chahal Radwan (67).....	32
Figure n°23 : Extraction au CO ₂ supercritique d'après C. Christine (61).....	33
Figure n°24 : Composition d'une huile végétale par Atelier populaire (36)	34
Figure n°25 : La diversité des lipides d'après Denis Isabelle (94)	35
Figure n°26 : Structure d'un triglycéride par Soult Allison (271).....	35
Figure n°27 : La régulation de la lipogénolyse par Takween (278).....	36
Figure n°28 : Représentation d'un AGS (acide butyrique) d'après Sanae Bouhsain (258).....	37
Figure n°29 : Représentation des AG par Primevère (241)	37
Figure n°30 : Acide palmitique d'après la Royal Society of Chemistry (254)	37
Figure n°31 : Représentation de la structure des acides gras (avec le groupement méthyl et carboxyl) d'après Biesalski et Grimm (49)	38
Figure n°32 : Représentation de la configuration trans et cis par l'université de Rennes (305)	38
Figure n°33 : Nomenclature des acides gras : exemple de l'acide linoléique d'après Guesnet et al. (138)	39
Figure n°34 : Les différentes étapes de formation des acides gras (extrait de l'actualisation des apports nutritionnels conseillés pour les acides gras publié en mai 2011 par l'ANSES (24).....	40
Figure n°35 : Les étapes de transformation d'après Bouazdi et Chicouche (54)	41
Figure n°36 : Représentation du DHA par Zediet (325)	41
Figure n°37 : Les proportions d'acides gras disponibles pour les conversions par LS..	41
Figure n°38 : Les étapes d'élongation et de désaturation pour obtenir les différents AGPI d'après Yeates et al. (321).....	42
Figure n°39 : Les conséquences d'un apport trop important en acides gras ω6 par Guesnet Philippe et al. (138).....	43
Figure n°40 : Principales fonctions exercées par les acides gras dans notre organisme par Guesnet Philippe et al. (138).....	44

Figure n°41 : Représentation d'un phospholipide par Bourbonnais Gilles (57).....	44
Figure n°42 : Les différents phospholipides	45
Figure n°43 : Représentation des phosphoglycérides et des sphingolipides par le tutorat santé de Tours (302).....	45
Figure n°44 : Le devenir des lipides transportés par les lipoprotéines par Morice Jules (215).....	46
Figure n°45 : L'acide oléique par Denis Isabelle (INRA) (95)	47
Figure n°46 : Les deux précurseurs des AGPI par Denis Isabelle (INRA) (95).....	49
Figure n°47 : Représentation des principaux acides gras par Zediet (325)	49
Figure n°48 : Production de molécules à partir des acides gras ω 3 et des acides gras ω 6	50
Figure n°49 : Les principales fonctions des acides gras ω 3 et des acides gras ω 6 par Joris (166).....	52
Figure n°50 : Les différents rôles des AG ω 3 d'après Nutri & Co (226)	52
Figure n°51 : Les différents pourcentages d'AG dans le cortex cérébral et la rétine d'après Nutralica (225)	54
Figure n°52 : L'IMC d'après Auxilium Médical (37).....	57
Figure n°53 : Structure cellulaire des adipocytes blancs et bruns d'après Jossart Christian (167).....	59
Figure n°54 : Localisation des différents dépôts de tissu adipeux blanc chez l'Homme d'après Giroud Maude (131).....	59
Figure n°55 : Les différents tissus adipeux d'après Ellero-Simatos Sandrine (108)	59
Figure n°56 : Les différents rôles des PPARS par Skalli et al. (269)	61
Figure n°57 : Apport énergétique total en pourcentage et sources végétales d'après Poiraud Jérôme (238)	65
Figure n°58 : Quelques pigments végétaux d'après Renoult Julien (249)	68
Figure n°59 : La vitamine A et ses dérivés par Voisin-Chiret (313).....	69
Figure n° 60 : La vitamine D2 et D3 par Voisin-Chiret (313)	70
Figure n°61 : Les tocophérols et les tocotriénols par Bartosinska E et al. (40)	70
Figure n°62 : Les vitamines K par Voisin-Chiret (313).....	71
Figure n°63 : Représentation du cholestérol et des principaux phytostérols d'après A.Trautwein et Demonty (2)	72

Figure n°64 : Action des phytostérols par rapport au cholestérol dans l'entérocyte d'après Séjourné (266) Illustration réalisée grâce à Servier Medical Art.....	73
Figure n°65 : Concentration du cholestérol total en fonction du temps d'après d'Hendriks et al. (147)	77
Figure n°66 : Concentration du LDL-cholestérol en fonction du temps d'après d'Hendriks et al. (147)	77
Figure n°67 : Réduction du LDL-cholestérol en fonction du taux de stérol par Katan et al. (175)	78
Figure n°68 : Diminution du LDL cholestérol en fonction de divers paramètres par A.Trautwein et al. (3) et Camus Gilles (63)	80
Figure n°69 : Formule chimique du squalène d'après la Royal Society of Chemistry (254).....	81
Figure n°70 : Classification des huiles en fonction de leurs richesses en AG d'après le médecin Henry Jean Yves (149)	83
Figure n°71 : Illustration du benzopyrène et de l'acroléine d'après la Royal Society of Chemistry (254)	85
Figure n°72 : Température critique en fonction du pourcentage d'AGPI d'après Végétaline (308)	86
Figure n°73 : Trois variétés de tournesols : Helianthus annuus hearth walker, Helianthus annuus teddy bear et Helianthus annuus solar eclipse F1 d'après promesse de fleurs (243)	87
Figure n°74 : Schéma de sélection d'après GNIS (Groupement national interprofessionnel des semences et des plants) (133)	88
Figure n°75 : Différentes variétés d'olive d'après Tramier (298)	88
Figure n°76 : Les principales variétés d'olive pour la production d'huile en France d'après Paris Alexandra (231)	89
Figure n°77 : L'indice de rendement en fonction de la variété d'après Semences de France (267)	90
Figure n°78 : La production d'huile brute en France en 2011, 2012 et 2013 d'après la fédération nationale des industries des corps gras (117)	91
Figure n°79 : La production d'huile raffinée en France en 2011, 2012 et 2013 d'après la fédération nationale des industries des corps gras (117).....	92

Figure n°80 : Production mondiale d’huiles en 2015 d’après Paris Alexandra (232) ...	93
Figure n°81 : Consommation mondiale des principales huiles végétales pour l’année 2016/2017 d’après Paris Alexandra (232)	93
Figure n°82 : La production de colza dans le monde d’après FOP (Fédération Française des Producteurs d’Oléagineux et de Protéagineux) (122)	94
Figure n°83 : Consommation d’huiles en France par Terres Univia (289)	94
Figure n°84 : Consommation mondiale d’huiles végétales de l’année 2013/2014 à 2017/2018 (272).....	95
Figure n°85 : Prix moyen et parts de marché des huiles végétales en grande distribution par Paris Alexandra (231).....	96
Figure n°86 : Evolution des ventes de produits alimentaires biologiques entre 2011 et 2016 par l’agence bio (11)	97
Figure n°87 : La France coupée en deux : au nord, le beurre et au sud, l’huile d’après Rendu Yvon (248)	99
Figure n°88 : Les préférences des régions de France entre le beurre, la margarine et l’huile d’après AFIDOL (7)	99
Figure n°89 : Evolution de la production et de la consommation d’huile d’olive en France par Paris Alexandra (231)	100
Figure n°90 : Les huiles en cuisine d’après Tag my food (277)	101
Figure n°91 : Evolution du marché français des compléments alimentaires d’après le Syndicat National des Compléments Alimentaires (274)	102
Figure n°92 : Les biocarburants de première génération d’après Energie online (110)	105
Figure n°93 : Les origines de l’éthanol utilisé en 2017 en France d’après ministère de la transition écologique et solidaire (212).....	106
Figure n°94 : Les Esters méthyliques d’Huile Végétale (EMHV) ou biodiesel d’après le ministère de la transition écologique et solidaire (212)	106
Figure n°95 : Les biocarburants de deuxième génération d’après Energie online (110)	107
Figure n°96 : Les biocarburants issus de microalgues d’après IFP Energies nouvelles (159).....	108

Figure n°97 : Les quatre générations de biocarburants d'après Gunathilake Damitha et Parlons sciences (142)	108
Figure n°98 : Les différents tourteaux que mangent les bovins en France en 2013/2014 d'après Terres Univia (284)	109
Figure n°99 : Evolution de la surface de culture de colza, tournesol et soja entre 1977 et 2017 en France par Terres Univia (286)	110
Figure n°100 : Evolution de la surface cultivée en agriculture biologique de colza, tournesol et soja entre 2003 et 2017 en France par Terres Univia (286)	112
Figure n°101 : Cartes de France des régions qui cultivent le colza, le tournesol, le soja et le lin en 2017 par Terres Univia (286)	113
Figure n°102 : La disponibilité des sols en France en 1960 et 2010 d'après le mouvement pour une organisation mondiale de l'agriculture (220)	114
Figure n°103 : Les graines de colza par Huiling (157)	115
Figure n°104 : La saisonnalité du colza par Terres Univia (291)	115
Figure n°105 : Diversité des débouchés du colza en France par Bellamy et Charbonnier (46)	116
Figure n°106 : Composition de l'huile de colza en acides gras par Terres Univia (291)	117
Figure n°107 : Les graines de tournesol par Huiling (157)	120
Figure n°108 : L'évolution de la tige en fonction du soleil d'après Couleur science (88)	120
Figure n°109 : Evolution des surfaces et productions de tournesol en France (données Agreste), indice 100 = 32 100 ha, 56 800 tonnes par le département Ager (96)	121
Figure n°110 : La saisonnalité du tournesol et les principales régions de productions en France d'après Terres Univia (293)	121
Figure n°111 : Composition en acides gras de l'huile de tournesol « classique » versus huile de tournesol « oléique » par Terres Univia (293)	122
Figure n°112 : Le gâteau au yaourt d'après Maximo (207)	124
Figure n°113 : « La dispute de Minerve et de Neptune au sujet d'Athènes » : Tableau de Blondel Merry Joseph de 1821 (51)	125
Figure n°114 : La couronne d'olivier est remise au vainqueur d'après le livre scolaire (192)	125

Figure n°115 : La composition d'une olive verte par Terres Univia (290)	126
Figure n°116 : L'olivier dans le monde en 2015 d'après Tramier (299).....	126
Figure n°117 : Les différentes catégories d'huiles d'olive d'après Le Galliard Cécile (190).....	128
Figure n°118 : Arbre décisionnel pour caractériser l'huile d'olive d'après Ollivier et al. (229).....	129
Figure n°119 : La composition moyenne de l'huile d'olive en acides gras d'après Terres Univia (290)	130
Figure n°120 : Pyramide alimentaire du régime méditerranéen d'après la nutrition (183).....	132
Figure n°121 : Pyramide alimentaire classique par Guggbenbühl Nicolas (141)	132
Figure n°122 : Les effets de la consommation d'huile d'olive sur certains troubles cognitifs d'après Berr et al. (48).....	135
Figure n°123 : Quelques produits de la gamme à base d'huile d'olive de Laino® d'après Epermarket (111)	136
Figure n°124 : Quelques produits le petit olivier ® (193).....	136
Figure n°125 : La composition d'une graine de lin oléagineux d'après Terres Univia (292).....	138
Figure n°126 : Les graines de lin par Huiling (157)	138
Figure n°127 : Réaction d'addition conduisant à la polymérisation de l'huile d'après Rigny Paul (250).....	140
Figure n°128 : La siccativité des huiles par Mouillaud Gérard (219)	140
Figure n°129 : Répartition des débouchés des graines de lin produites en France d'après Terres Univia (285).....	141
Figure n°130 : Présentation et résultats de l'étude de Weill P et al. (317).....	144
Figure n°131 : La démarche Bleu Blanc Cœur (35)	145
Figure n°132 : Echelle de couleur Gardner d'après Hellopro (146).....	146
Figure n°133 : Le marché potentiel pour l'huile et le tourteau de cameline d'après Chesnais Quentin (69)	147
Figure n°134 : Les différentes périodes historiques d'après Villemin Gérard (311) .	149
Figure n°135 : Carte des sites de France où les graines de camelins ont été retrouvées du néolithique à l'âge du fer d'après Bouby Laurent (55).....	150

Figure n°136 : Fresque historique d'après Chronologie de l'occident (73)	151
Figure n°137 : Attestations de <i>Camelina sativa</i> et <i>sativa aggr</i> du bronze final au Hallstatt moyen, dessin de F.Toulemonde (297)	151
Figure n°138 : Attestations de <i>Camelina sativa</i> et <i>sativa aggr</i> du Hallstatt D3 au Tène final, dessin de F.Toulemonde (297)	152
Figure n°139 : Schéma de la coupe d'une fleur par Berger (47)	154
Figure n°140 : Sommité florifère et fructifère de la cameline d'après Frère Blouin Alexandre (125)	154
Figure n°141 : <i>Camelina microcarpa</i> , <i>Camelina alyssum</i> et <i>Camelina sativa</i> d'après A Francis et S.I Warwick (1).....	157
Figure n°142 : Racine de <i>Camelina sativa</i> (photo LS).....	158
Figure n°143 : Les fleurs de <i>Camelina sativa</i> (photo LS)	158
Figure n°144 : Les boutons floraux de <i>Camelina sativa</i> (photo LS)	159
Figure n°145 : Les jeunes plants de <i>Camelina sativa</i> à environ un mois à Rocquancourt (photo LS)	159
Figure n°146 : Les graines de <i>Camelina sativa</i> après la récolte de Courvaudon (photo LS)	160
Figure n°147 : Les différents stades de la cameline avec des images de microscopie électronique à balayage (SEM) par Razeq (245)	160
Figure n°148 : Composition en cire de la tige de la cameline par Razeq (245).....	161
Figure n°149 : Cultiver la cameline en culture pure ou en association ?.....	162
Figure n°150 : Nombre de publications sur la cameline (ligne pleine) et superficie dédiée à la cameline dans le Montana (ligne pointillée) d'après Faure & Tepfer (116).....	162
Figure n°151 : Quelques caractéristiques de la cameline d'après agriconomie (14) .	163
Figure n°152 : Système canadien de classification des sols en fonction du pourcentage d'argile et de sable (275).....	164
Figure n°153: Le rendement en cameline en fonction de l'irrigation d'après Hergert et al. (150)	165
Figure n°154 : Rendement en graines et en huile de divers sites par Zanetti Federica et al. (324)	167
Figure n°155 : Rendement en graines et en huile en fonction du génotype par Zanetti Federica et al. (324).....	168

Figure n°156 : Répartition de <i>Camelina sativa</i> aux Etats-Unis en 2008 d'après A Francis et S.I Warwick (1).....	169
Figure n°157 : Date optimale des semis en fonction du rendement d'après K.A. McVay (172).....	172
Figure n°158 : L'association entre <i>Lens Culinaris</i> et <i>Camelina sativa</i> d'après la ferme du Mont d'Or (182).....	174
Figure n°159 : Représentation de la densité des plants de <i>Camelina sativa</i> (photo LS)	175
Figure n°160 : Les grandes plaines des Etats-Unis d'après carte du monde (65)	176
Figure n°161 : Les différents sites choisis au Montana d'après carte du monde (65)	177
Figure n°162 : La concentration en protéines du blé à Hays et Sheridan après la culture de la cameline, expérience réalisée par Obour et al. (227).....	178
Figure n°163 : La composition moyenne de la graine de blé d'après Passion céréales (233).....	178
Figure n°164 : Photo d'une benne d'une capacité de 15 tonnes (photo LS)	179
Figure n°165 : La cameline (<i>Camelina sativa</i>) d'après Agriconomie (14).....	180
Figure n°166 : Le tabouret des champs (<i>Thlaspi arvense</i>) d'après IRIS phytoprotection (165).....	180
Figure n°167 : Illustration montrant l'attraction des pucerons par les Camelines infectées et non infectées par les <i>Arabidopsis</i> infectées d'après Brault Véronique (58)	182
Figure n°168 : La guêpe (<i>Aphidius colemani</i>) et le puceron vert du pêcher (<i>Myzus persicae</i>) d'après Biocontrol (50)	183
Figure n°169 : La relation complexe entre la cameline et divers éléments d'après Chesnais Quentin (69)	183
Figure n°170 : Parcelle atteinte de jaunisse nanisante de l'orge d'après l'institut du végétal (162)	184
Figure n°171 : Mode de propagation du virus dans une population de pucerons d'après Taupin Pierre (281)	184
Figure n°172 : Le <i>Rhaphalosiphum padi</i> d'après Agrifind (16).....	185
Figure n°173 : Trajet du virus de la jaunisse nanisante de l'orge dans un puceron d'après l'université de Liège (303)	185

Figure n°174 : Les différentes possibilités de choix pour les guêpes d'après Chesnais et al. (71)	186
Figure n°175 : Le projet Gargamel d'après Gardarin Antoine (128)	188
Figure n°176 : Abondance moyenne (\pm écart-type) des ennemis naturels piégés dans les différentes bandes fleuries d'après Brigode Mélanie (59)	189
Figure n°177 : Abondance moyenne (\pm écart-type) de ravageurs observés dans le froment adjacent aux bandes fleuries et dans le froment témoin d'après Brigode Mélanie (59)	190
Figure n°178 : Le devenir possible des graines de cameline par LS	191
Figure n°179 : Les graines de cameline Oliméga (87)	192
Figure n°180 : Structure de quelques glucides d'après Martin Kellie (206)	193
Figure n°181 : Structure de quelques glucides d'après Hitachi High Technologies America Inc (151)	194
Figure n°182 : Structure de l'amidon d'après l'université de Namur (304)	194
Figure n°183 : Structure d'une pectine d'après Food info (121)	194
Figure n°184 : Extraction à froid de l'huile de cameline avec une presse à vis d'après Three farmers (295)	195
Figure n°185 : Système d'extraction par le dioxyde de carbone supercritique par Henok D et al. (148)	196
Figure n°186 : La teneur en composés phénoliques totaux en fonction des méthodes d'extraction par Belayneh et al. (42)	198
Figure n°187 : La composition d'une huile végétale par Zitoun Terki Seloua (327) ..	199
Figure n°188 : Teneur en huile des graines et des tourteaux de cameline par LS	199
Figure n°189 : Structure des glucosinolates présents dans les graines de cameline d'après M. A. Berhow et al. (197)	200
Figure n°190 : Couleur de l'huile de cameline (photo LS)	200
Figure n°191 : Structure chimique de la lutéine et de la zéaxanthine d'après la société chimique de France (188)	200
Figure n°192 : L'acide érucique ou acide 13-docosénoïque d'après Yedikardachian.C (322)	206
Figure n°193 : Composition des 0.54 % d'insaponifiables dans l'huile par LS	210

Figure n°194 : Le chromatogramme à ions pour identifier les stérols d'après Shukla V.K.S et al. (268)	210
Figure n°195 : Exemple de céramide d'après Dixit et Hofmann Kay (104)	215
Figure n°196 : Le test de Rancimat d'après Raczyk Marianna et al. (244)	226
Figure n°197 : Détermination de la température d'oxydation induite par la méthode isotherme	226
d'après Netzsch (222)	226
Figure n°198 : La durée de stockage augmente l'indice de peroxyde d'après Abramovic et Abram (6)	229
Figure n°199 : Photographie des émulsions en fonction de la pression, du temps et du nombre de passage dans l'homogénéisateur par Belayneh et al. (45)	231
Figure n°200 : La valeur de peroxyde en fonction de différentes conditions de stockage par Belayneh et al. (45)	232
Figure n°201 : Concentrations des différents oxydants testés lors de l'étude de Moslavac Thomas et al. (218)	233
Figure n°202 : Le temps d'induction des différentes huiles de l'étude de Szterk Arkadiusz et al. (276)	234
Figure n°203 : La marque de salubrité d'après le règlement CE n°853/2004 (247) ...	236
Figure n°204 : Ancien et nouveau packaging de l'Azéol AB par LS	243
Figure n°205 : Les indices de comédogénicité des huiles végétales par un zeste vert (326)	245
Figure n°206 : Quelques produits lavera contenant de l'huile de cameline (photo LS)	247
Figure n°207 : Huile de soin vergetures (photo LS)	248
Figure n°208 : Baume hydra-défense (photo LS)	249
Figure n°209 : Crème nutritive (photo LS)	250
Figure n°210 : Shampoing absolue kératine (photo LS)	252
Figure n°211 : Exemple d'huile de cameline vendue en magasins biologique (photo LS)	255
Figure n°212 : Les différents mélanges avec de l'huile de cameline proposés chez Vigean® (photo LS)	256

Figure n°213 : Evolution de la part des causes de décès chez les femmes entre 2000 et 2008 en France (31).....	258
Figure n°214 : Taux d'incidence cumulatifs d'événements cardiovasculaires majeurs selon l'année de suivi dans le groupe n-3 et le groupe placebo par Manson et al. (202)	263
Figure n°215 : Taux d'incidence cumulatifs des cancers invasifs de tout type, selon l'année de suivi dans le groupe n-3 et le groupe placebo.....	263
par Manson et al. (202)	263
Figure n°216 : Les différentes modifications du profil lipidique en fonction des quatre groupes par Schwab et al. (263).....	264
Figure n°217 : Beurre de sardine (photo LS)	267
Figure n°218 : Salade de courgettes crues (photo LS)	268
Figure n°219 : Fonds d'artichaut frais, œufs pochés et crème de ciboulette (photo LS)	268
Figure n°220 : Patates douces rôties (photo LS).....	269
Figure n°221 : Le rendement en graine de cameline en fonction du taux d'azote et du taux de phosphore par Solis Alejandro et al. (270).....	273
Figure n°222 : Les tourteaux de cameline d'après Sancoil (259)	279

Liste des tableaux

Tableau n°1 : Domaine d'utilisation des huiles durant les différentes périodes historiques à partir d'Afidol (8) et Julien Pierre (170).....	17
Tableau n° 2 : Le principe de fonctionnement et les principales caractéristiques des décortiqueurs multichocs d'après OLEAD (228)	23
Tableau n°3 : Les constituants indésirables éliminés lors du raffinage des huiles par Evrard J et al. (115)	24
Tableau n°4 : Définition des différentes étapes de raffinage	25
Tableau n°5 : Fiche de l'hexane créée par l'INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité) (164).....	29
Tableau n°6 : Les effets d'une exposition à l'hexane d'après Clayton et Clayton (75) et Hathaway et al. (145)	30
Tableau n°7: Extraction avec le n-hexane	31
Tableau n°8: Fiche du dioxyde de carbone créée par l'INRS (164).....	32
Tableau n°9 : Les valeurs limites d'exposition professionnelle au dioxyde de carbone d'après l'INRS (164)	34
Tableau n°10 : Les acides gras monoinsaturés d'après Charbonnier Morgaine (68) ...	47
Tableau n°11 : Les acides gras polyinsaturés d'après Charbonnier Morgaine (68)	48
Tableau n°12 : Rôles physiologiques majeurs exercés par les AGPI n-6 et n-3 par l'ANSES dans son rapport : Actualisation des apports nutritionnels conseillés pour les AG (24)	51
Tableau n°13 : Les réponses physiologiques induites par l'ALA, l'EPA et le DHA d'après Poudyal et al. (239)	53
Tableau n°14 : Variations des teneurs moyennes des principaux AG du lait maternel en France par Guesnet Philippe et al. (139)	55
Tableau n°15 : Les valeurs recommandées par jour en AGE et en AGPI-LC d'après Bocquet (52).....	56
Tableau n°16 : Comparaison de la composition de certains acides gras dans le lait maternel en France en 1993-1998 par rapport à 2017 par Boué-Vaysse et al. (56)	56
Tableau n°17 : L'étude Esteban en France par Santé publique France (260)	58

Tableau n°18 : Concentrations en AG des bars dans les élevages (étude de Fuentes et al. (126) (g/100 g d'acides gras))	62
Tableau n°19 : Apports nutritionnels conseillés en acide gras définis par l'ANSES (23)	64
Tableau n°20 : Apports quotidiens moyens en acide linoléique (LA), en α -linoléique (ALA) et ratio LA/ALA des enfants de 3 à 17 ans en France (23)	66
Tableau n°21 : Apports quotidiens moyens en acide linoléique (LA), en α -linoléique (ALA) et ratio LA/ALA des adultes de 18 à 79 ans en France (23)	66
Tableau n°22 : Proportion de sujets à risque d'insuffisance d'apports en LA et ALA, et comparaison du ratio LA/ALA par rapport aux ANC de 2010 chez les adultes de 18 à 79 ans en France (23)	67
Tableau n°23 : Teneur en phytostérols en mg de divers aliments pour 100 g d'après l'ANSES (27)	74
Tableau n°24 : Diminution de la teneur en tocophérols, en stérols et polyphénols avec une neutralisation à la soude ou à l'oxyde de magnésium par Ghazani et al. (129)	74
Tableau n°25 : Les normes de références attendues lors du bilan lipidiques d'après Améli (20)	77
Tableau n°26 : Réduction du cholestérol en fonction de la dose de stérol et de stanol par Katan et al. (175)	78
Tableau n°27 : Impact de deux statines sur le cholestérol d'après Edwards et Moore (107)	79
Tableau n°28 : Effets du squalène, du lauroylsarcosine et du superoxyde dismutase sur la peau des rats d'après Aioi et al. (18)	81
Tableau n°29 : Le nombre de kilocalories pour 100g d'huile végétale d'après les calories (194)	82
Tableau n°30 : Les compositions de différentes huiles végétales par Morin et Pagès-Xatart-Parès (216)	84
Tableau n°31 : Suites des différentes compositions des huiles végétales par Morin et Pagès-Xatart-Parès (216)	84
Tableau n°32 : Exemples des points de fumée des différentes matières grasses par Barakat Elodie (38)	86

Tableau n°33 : Production d'huiles brute en milliers de tonnes pour la période 2011 à 2013 d'après la fédération nationale des industries des corps gras (FNCG) (117).....	91
Tableau n°34 : Production d'huiles raffinées en milliers de tonnes pour la période 2011 à 2013 d'après la fédération nationale des industries des corps gras (117)	92
Tableau n°35 : Quelques résultats du « Sondage Opinion Way « Les Français et l'huile végétale » pour Terres Univia » (288)	98
Tableau n°36 : Les différentes huiles végétales en fonction de leur site d'action par Collin Anne-Hélène (81).....	104
Tableau n°37 : Les données pour la superficie développée, le rendement et la production récoltée pour les olives d'après Agreste (13)	110
Tableau n°38 : Les données pour la superficie développée, le rendement et la production récoltée pour les oléagineux d'après Agreste (13)	111
Tableau n°39 : Les labels biologiques d'après ça m'intéresse & vivre mieux (62)	111
Tableau n°40 : Composition de l'huile de colza pour 100g d'après Ciqual (29)	117
Tableau n°41 : Composition de l'huile de tournesol pour 100 g d'après Ciqual (29) .	123
Tableau n°42 : Composition de l'huile d'olive d'après le livre de Clergeaud : Les huiles végétales : huiles de santé et de beauté (76)	130
Tableau n°43 : Composition de l'huile d'olive extra vierge pour 100 g d'après Ciqual (29).....	131
Tableau n°44 : Réduction du risque de divers événements cliniques, telles qu'observées lors de l'étude PREDIMED par Juneau Martin (171).....	134
Tableau n°45 : Composition de l'huile de lin pour 100g d'après Ciqual (29)	139
Tableau n°46 : Tolérance du lin oléagineux, type hiver ou printemps, aux contraintes climatiques d'après Terres Inovia (283)	139
Tableau n°47 : Composition en acides gras de différentes lignées de cameline d'après Vollmann et al. (314)	166
Tableau n°48 : Le nombre de peuplement en fonction du type de semoir d'après d'Urbaniak S.D et al. (307)	170
Tableau n°49 : Variations de différents paramètres de culture de la cameline et de la composition de l'huile obtenue d'après Angelini et al. (21).....	171
Tableau n°50 : Avantages et inconvénients de la culture de la cameline pure ou en association d'après Agridea (15)	175

Tableau n°51 : Extrait de la grille tarifaire d'après la Coopérative Agrial (84).....	179
Tableau n°52 : Composition en minéraux de la graine de la cameline d'après Zubr (329).....	192
Tableau n°53 : Composition en minéraux de la graine de la cameline d'après Zubr (329).....	193
Tableau n°54 : Composition en glucides de la graine de cameline d'après Zubr (329).....	193
Tableau n°55 : Les rendements obtenus lors de l'étude d'Henok D et al. (148) en fonction de diverses méthodes d'extraction	197
Tableau n°56 : Composition chimique du tourteau de cameline d'après Cornevin Charles (86)	199
Légende : teneur en huile la plus basse -teneur en huile la plus haute	201
Tableau n°57 : La teneur en huile de cameline en pourcentage (variété hiver et printemps) dans divers endroits d'Europe d'après Zubr Josef (328)	201
Tableau n°58 : Analyse nutritionnelle pour 100 g d'huile de cameline de chez Vigean (310).....	202
Tableau n°59 : Composition des huiles de cameline de l'étude de Zubr Josef (328) .	202
Tableau n°60 : La composition en acides gras des diverses huiles de cameline testées d'après Zubr et Matthäus (330)	203
Tableau n°61 : Composition en acides gras saturés et insaturés de l'huile de cameline d'après Shukla V.K.S et al. (268).....	204
Tableau n°62 : Différentes compositions de l'huile de cameline en Slovénie d'après Abramovic Helena et Abram Veronika (6).....	205
Tableau n°63 : Les compositions en acides gras de l'huile de cameline varient en fonction des études d'après Waraich Ejaz Ahmad et al. (316)	207
Tableau n°64 : Teneur en tocophérols de différentes huiles de cameline d'après Zubr et Matthäus (330).....	208
Tableau n°65 : Teneur en tocophérols de l'étude d'après Zubr (328).....	209
Tableau n°66 : La teneur en phytostérol de l'huile de cameline d'après Shukla V.K.S et al. (268)	211
Tableau n°67 : Composition en stérols en pourcentage des principales huiles végétales d'après Ollivier et al. (229)	212

Tableau n°68 : Les principaux insaponifiables de l'huile de cameline d'après Sampath Anusha (257)	213
Tableau n°69 : Composition en mg / 100 g d'huile des insaponifiables des huit échantillons d'huile de cameline d'après Sampath Anusha (257)	213
Tableau n°70 : Liste des composants retrouvés dans les insaponifiables de l'huile de cameline d'après M.A. Berhow et al. (197)	214
Tableau n°71 : Composition de la lécithine de cameline en fonction de deux méthodes d'extraction (l'eau et les enzymes) par Belayneh (44)	216
Tableau n°72 : Les différences significatives de composition en phospholipides de la lécithine de cameline en fonction de deux méthodes d'extraction (l'eau et les enzymes) par Belayneh (44)	217
Tableau n°73 : Les compositions en phospholipides de différentes lécithines d'après Bardeau Tiphaine (39)	217
Tableau n°74 : Les différents pourcentages de phospholipides obtenus avec un dégommeage à l'eau ou un dégommeage enzymatique d'après Belayneh (44)	218
Tableau n°75 : Composition en phospholipides de l'huile de cameline en fonction des méthodes d'extractions d'après Belayneh (44)	219
Tableau n°76 : Exemple de détermination de plusieurs paramètres d'après Laporte-Wojcik Catherine et LS.....	220
Tableau n°77 : Exemple de détermination de plusieurs paramètres d'après Laporte-Wojcik Catherine et LS.....	221
Tableau n°78 : Densité de l'huile de cameline en fonction de la température d'après Abramovic et Abram (6)	223
Tableau n°79 : Fiche technique de l'huilerie Emile Noël (155)	224
Tableau n°80 : Comparaison d'une huile de cameline provenant de Slovénie et d'une huile de cameline provenant de France d'après Rode (251).....	225
Tableau n°81 : La valeur d'acide, la valeur de peroxyde et la valeur de p-anisidine en fonction de l'huile de lin et de l'huile de cameline par Raczyk Marianna et al. (244).....	225
Tableau n°82 : Les résultats du test de Rancimat et de la calorimétrie à balayage à pression différentielle pour l'huile de lin et l'huile de cameline par Raczyk Marianna et al. (244).....	226

Tableau n°83 : Les températures à respecter durant l’entreposage, le transport, le chargement et le déchargement d’après le Codex alimentarius (78)	228
Tableau n°84 : La règle d’indication pour la DDM en fonction de la durabilité du produit d’après la DGCCRF (100).....	237
Tableau n°85 : Les posologies des huiles essentielles par voie orale et cutanée d’après Pranarom (240)	239
Tableau n°86 : Tableau de conversion entre les volumes, les huiles essentielles et la base végétale d’après Aromâge (32).....	240
Tableau n°87 : Comparaison de différents prix d’huiles végétales en 2018 par LS ...	241
Tableau n°88 : Composition des capsules d’Azéol AB par LS	242
Tableau n°89 : Composition des capsules d’Azéol AF par LS	242
Tableau n°90 : Huile de cameline alimentaire versus huile de cameline cosmétique par LS	246
Tableau n°91 : Description de l’étiquette d’un shampoing de la gamme absolue kératine par LS.....	253
Tableau n°92 : La composition des principaux acides gras de différents mélanges d’huiles par LS	257
Tableau n°93 : Récapitulatif des études DART, GISSI et JELIS par Dallongeville (91) .	260
Tableau n°94 : Les résultats pour le groupe « diète méditerranéenne » lors de l’étude de Lyon (93).....	261
Tableau n°95 : Effets de la supplémentation en ALA sur le risque cardiovasculaire dans la méta-analyse Cochrane d’après Korsia-Meffre (179)	262
Tableau n°96 : Les propriétés physiques du biodiesel obtenu avec DOE II et DOE III par Sáez-Bastante et al.(256)	271
Tableau n°97 : Les indices d’émissions des trois moteurs en conditions de croisière d’après Moore et al. (214)	272
Tableau n°98 : Les différents régimes proposés aux morues d’après Hixson Stefanie et al. (152)	274
Tableau n°99 : Composition des régimes des cinq groupes de saumon par Hixson Stefanie et al. (153)	276
Tableau n°100 : Composition des œufs de poules des deux groupes dans l’étude de Rokka.T et al. (252)	277

Tableau n°101 : La teneur en acides gras des œufs en fonction du mode de production d'après Kerhoas et al. (176)	278
Tableau n°102 : Quelques résultats de l'étude de Hurtaud C et Peyraud J.L (158) ...	280

Glossaire

Ce glossaire a été créé à partir des références suivantes :

<https://www.cnrtl.fr/definition/>

<https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais>

<https://www.le-dictionnaire.com/>

<https://www.universalis.fr/dictionnaire/>

Altise : Insecte coléoptères, ravageurs de plusieurs cultures

AOMI : Artérite des membres inférieurs ou artériopathie oblitérante des membres

inférieurs : obstruction partielle ou totale des artères des membres inférieurs

Biomasse : Ensemble des énergies provenant de la dégradation de la matière organique

Calice : Enveloppe extérieure de la fleur, composée de sépales

Cotylédon : Organe embryonnaire commun à toutes les espèces de plantes à graines

Corolle : Partie d'une fleur complète qui enveloppe immédiatement les organes de la fécondation et qui est ordinairement colorée

Dicotylédone : Plante angiosperme dont la graine possède deux cotylédons, généralement égaux

Embrassant : Dont la base entoure en partie ou totalement l'axe porteur

Endoparasite ou endoparasitoïde : Parasite effectuant tout son développement dans les cavités profondes de l'organisme, les tissus, le sang.

Fibrillation auriculaire : trouble du rythme cardiaque qui accélère le cœur et le fait battre de manière irrégulière

Hydrogénation : En chimie, fixation d'atomes d'hydrogène sur une molécule

Lipogenèse : Production de corps gras dans les organismes vivants.

Margarine : Matière grasse alimentaire, de consistance molle, faite avec de l'eau et diverses huiles et graisses généralement végétales

Margine : Eau contenue dans les cellules des olives, qui sort des presses en même temps que l'huile

Nymphal : Relatif à une nymphe, forme prise par certaines larves d'insectes à la fin de la deuxième phase de la métamorphose

Omental : En médecine, relatif à l'épiploïte, inflammation de l'épiploon (replis du péritoine)

Pétale : Partie de la fleur située entre les sépales et les organes reproducteurs. Les pétales

composent la corolle et sont fixés au calice par un onglet

Parasitoïde : Type de parasite vivant aux dépens d'un autre organisme qu'il tuera lorsqu'il aura terminé son développement

Polymérisation : En chimie, réaction consistant à lier des monomères pour obtenir une macromolécule.

Prospectif : Qui est orienté vers l'avenir, qui anticipe sur l'avenir

Sépale : Chacune des pièces formant le calice (ou verticille externe) d'une fleur

Silicule : Silique dont la longueur n'excède pas trois fois la largeur

Silique : Fruit déhiscent constitué par une capsule plus ou moins longue, formée de deux parties unies par des sutures longitudinales où les semences sont attachées, et divisée en deux loges par une cloison membraneuse. Il a quatre fentes de déhiscence.



VU, LE PRESIDENT DU JURY

CAEN, LE

VU, LE DIRECTEUR DE LA FACULTE
DES SCIENCES PHARMACEUTIQUES

CAEN, LE

L'université n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les thèses et mémoires. Ces opinions doivent être considérées comme propres à leurs auteurs.

TITRE

ETUDE ETHNOBOTANIQUE DE CAMELINA SATIVA (L.) CRANTZ

Résumé

Les huiles végétales sont produites de différentes façons et ont de nombreuses utilisations dans divers domaines (alimentation, cosmétologie, industrie ...). Certaines des huiles sont très connues comme l'huile d'olive ou de tournesol et d'autres le sont moins comme l'huile de cameline. C'est une huile qui a une composition très intéressante avec un faible rapport ω_6/ω_3 . Sa richesse en acides gras ω_3 lui permet d'être une huile idéale pour la cuisine et lors de l'assaisonnement. Les acides gras ω_3 amenés par l'alimentation vont permettre notamment une meilleure prévention des maladies cardiovasculaires. En cosmétologie, on l'utilisera principalement pour ses propriétés hydratantes. En aromathérapie, l'huile de cameline peut être considérée comme un support. Elle est aussi utilisée dans le domaine des biocarburants et de la nutrition animale. L'huile de cameline possède toutes les qualités nécessaires pour devenir une huile reconnue.

TITLE

ETHNOBOTANICAL STUDY OF CAMELINA SATIVA (L.) CRANTZ

Summary

Vegetable oils are produced in different ways and have many uses in various fields (food, cosmetology, industry for examples...). Some oils are very well known like olive or sunflower oil whereas some others are less known like camelina oil. The camelina oil has a very interesting composition with a low ω_6 / ω_3 ratio. Its richness in ω_3 fatty acids makes it an ideal oil for cooking and for seasoning. The ω_3 fatty acids provided by food will notably allow better prevention of cardiovascular diseases. In cosmetology, it will be used mainly for its moisturizing properties. In aromatherapy, camelina oil can be considered a dilution carrier. It is also used in the field of biofuels and animal nutrition. Camelina oil has all the qualities necessary to become a well prized oil.

Mots-clés

Huile végétale ; Cameline ; Oméga-3 ; Tourteaux ; Biocarburant
