

THESE
POUR LE DIPLOME D'ETAT
DE DOCTEUR EN PHARMACIE

Soutenue publiquement le 05 Mars 2020

Par Mme Eugénie DECOCK

Le lin : son utilisation en santé et nutrition

Membres du jury :

Président, conseiller de thèse : Monsieur HENNEBELLE Thierry, Professeur des Universités, Lille

Assesseur : Monsieur WELTI Stéphane, Maître de conférence, Lille

Membre extérieur : Madame DEHOUCK Marie, Pharmacien, Moule



Faculté de Pharmacie de Lille

3, rue du Professeur Laguesse - B.P. 83 - 59006 LILLE CEDEX

☎ 03.20.96.40.40 - ☎ : 03.20.96.43.64

<http://pharmacie.univ-lille2.fr>



Université de Lille

Président :	Jean-Christophe CAMART
Premier Vice-président :	Nicolas POSTEL
Vice-présidente Formation :	Lynne FRANJIÉ
Vice-président Recherche :	Lionel MONTAGNE
Vice-président Relations Internationales :	François-Olivier SEYS
Vice-président stratégie et prospective :	Régis BORDET
Vice-président ressources :	Georgette DAL
Directeur Général des Services :	Pierre-Marie ROBERT
Directrice Générale des Services Adjointe :	Marie-Dominique SAVINA

Faculté de Pharmacie

Doyen :	Bertrand DÉCAUDIN
Vice-Doyen et Assesseur à la Recherche :	Patricia MELNYK
Assesseur aux Relations Internationales :	Philippe CHAVATTE
Assesseur aux Relations avec le Monde Professionnel :	Thomas MORGENROTH
Assesseur à la vie de la Faculté :	Claire PINCON
Assesseur à la Pédagogie :	Benjamin BERTIN
Responsable des Services :	Cyrille PORTA
Représentant étudiant :	Victoire LONG

Liste des Professeurs des Universités - Praticiens Hospitaliers

Civ.	NOM	Prénom	Laboratoire
Mme	ALLORGE	Delphine	Toxicologie
M.	BROUSSEAU	Thierry	Biochimie
M.	DÉCAUDIN	Bertrand	Pharmacie Galénique
M.	DEPREUX	Patrick	ICPAL
M.	DINE	Thierry	Pharmacie clinique
Mme	DUPONT-PRADO	Annabelle	Hématologie
Mme	GOFFARD	Anne	Bactériologie - Virologie
M.	GRESSIER	Bernard	Pharmacologie

M.	ODOU	Pascal	Pharmacie Galénique
Mme	POULAIN	Stéphanie	Hématologie
M.	SIMON	Nicolas	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique
M.	STAELS	Bart	Biologie Cellulaire

Liste des Professeurs des Universités

Civ.	NOM	Prénom	Laboratoire
M.	ALIOUAT	EI Moukhtar	Parasitologie
Mme	AZAROUAL	Nathalie	Physique
M.	CAZIN	Jean-Louis	Pharmacologie – Pharmacie clinique
M.	CHAVATTE	Philippe	ICPAL
M.	COURTECUISSÉ	Régis	Sciences végétales et fongiques
M.	CUNY	Damien	Sciences végétales et fongiques
Mme	DELBAERE	Stéphanie	Physique
M.	DEPREZ	Benoît	Lab. de Médicaments et Molécules
Mme	DEPREZ	Rebecca	Lab. de Médicaments et Molécules
M.	DUPONT	Frédéric	Sciences végétales et fongiques
M.	DURIEZ	Patrick	Physiologie
M.	FOLIGNE	Benoît	Bactériologie
M.	GARÇON	Guillaume	Toxicologie
Mme	GAYOT	Anne	Pharmacotechnie Industrielle
M.	GOOSSENS	Jean François	Chimie Analytique
M.	HENNEBELLE	Thierry	Pharmacognosie
M.	LEBEGUE	Nicolas	Chimie thérapeutique
M.	LEMDANI	Mohamed	Biomathématiques
Mme	LESTAVEL	Sophie	Biologie Cellulaire
Mme	LESTRELIN	Réjane	Biologie Cellulaire
Mme	MELNYK	Patricia	Onco et Neurochimie
M.	MILLET	Régis	ICPAL
Mme	MUHR – TAILLEUX	Anne	Biochimie
Mme	PERROY	Anne Catherine	Législation
Mme	ROMOND	Marie Bénédicte	Bactériologie
Mme	SAHPAZ	Sevser	Pharmacognosie
M.	SERGHÉRAERT	Eric	Législation
Mme	SIEPMANN	Florence	Pharmacotechnie Industrielle
M.	SIEPMANN	Juergen	Pharmacotechnie Industrielle
M.	WILLAND	Nicolas	Lab. de Médicaments et Molécules

Liste des Maîtres de Conférences - Praticiens Hospitaliers

Civ.	NOM	Prénom	Laboratoire
Mme	BALDUYCK	Malika	Biochimie
Mme	GARAT	Anne	Toxicologie
Mme	GENAY	Stéphanie	Biopharmacie, Pharmacie Galénique et Hospitalière
M.	LANNOY	Damien	Biopharmacie, Pharmacie Galénique et Hospitalière
Mme	ODOU	Marie Françoise	Bactériologie

Liste des Maîtres de Conférences

Civ.	NOM	Prénom	Laboratoire
Mme	AGOURIDAS	Laurence	Chimie thérapeutique
Mme	ALIOUAT	Cécile Marie	Parasitologie
M.	ANTHERIEU	Sébastien	Toxicologie
Mme	AUMERCIER	Pierrette	Biochimie
Mme	BANTUBUNGI-BLUM	Kadiombo	Biologie cellulaire
Mme	BARTHELEMY	Christine	Pharmacie Galénique
Mme	BEHRA	Josette	Bactériologie
M	BELARBI	Karim	Pharmacologie
M.	BERTHET	Jérôme	Physique
M.	BERTIN	Benjamin	Immunologie
M.	BLANCHEMAIN	Nicolas	Pharmacotechnie industrielle
M.	BORDAGE	Simon	Pharmacognosie
M.	BOSC	Damien	Lab. de Médicaments et Molécules
M.	BRIAND	Olivier	Biochimie
M.	CARNOY	Christophe	Immunologie
Mme	CARON-HOUDE	Sandrine	Biologie cellulaire
Mme	CARRIE	Hélène	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique
Mme	CHABÉ	Magali	Parasitologie
Mme	CHARTON	Julie	Lab. de Médicaments et Molécules
M	CHEVALIER	Dany	Toxicologie
Mme	DANEL	Cécile	Chimie Analytique
Mme	DEMANCHE	Christine	Parasitologie
Mme	DEMARQUILLY	Catherine	Biomathématiques
M.	DHIFLI	Wajdi	Biomathématiques
Mme	DUMONT	Julie	Biologie cellulaire
M.	EL BAKALI	Jamal	Onco et Neurochimie
M.	FARCE	Amaury	ICPAL
Mme	FLIPO	Marion	Lab. de Médicaments et Molécules
Mme	FOULON	Catherine	Chimie Analytique
M.	FURMAN	Christophe	ICPAL
M.	GERVOIS	Philippe	Biochimie
Mme	GOOSSENS	Laurence	ICPAL
Mme	GRAVE	Béatrice	Toxicologie
Mme	GROSS	Barbara	Biochimie
M.	HAMONIER	Julien	Biomathématiques
Mme	HAMOUDI-BEN YELLES	Chérifa Mounira	Pharmacotechnie industrielle
Mme	HANNOTHIAUX	Marie-Hélène	Toxicologie
Mme	HELLEBOID	Audrey	Physiologie
M.	HERMANN	Emmanuel	Immunologie
M.	KAMBIA KPAKPAGA	Nicolas	Pharmacologie
M.	KARROUT	Youness	Pharmacotechnie Industrielle
Mme	LALLOYER	Fanny	Biochimie
Mme	LECOEUR	Marie	Chimie Analytique
Mme	LEHMANN	Hélène	Législation
Mme	LELEU	Natascha	ICPAL

Mme	LIPKA	Emmanuelle	Chimie Analytique
Mme	MARTIN	Françoise	Physiologie
M.	MOREAU	Pierre Arthur	Sciences végétales et fongiques
M.	MORGENROTH	Thomas	Législation
Mme	MUSCHERT	Susanne	Pharmacotechnie industrielle
Mme	NIKASINOVIC	Lydia	Toxicologie
Mme	PINÇON	Claire	Biomathématiques
M.	PIVA	Frank	Biochimie
Mme	PLATEL	Anne	Toxicologie
M.	POURCET	Benoît	Biochimie
M.	RAVAUX	Pierre	Biomathématiques
Mme	RAVEZ	Séverine	Onco et Neurochimie
Mme	RIVIERE	Céline	Pharmacognosie
M.	ROUMY	Vincent	Pharmacognosie
Mme	SEBTI	Yasmine	Biochimie
Mme	SINGER	Elisabeth	Bactériologie
Mme	STANDAERT	Annie	Parasitologie
M.	TAGZIRT	Madjid	Hématologie
M.	VILLEMAGNE	Baptiste	Lab. de Médicaments et Molécules
M.	WELTI	Stéphane	Sciences végétales et fongiques
M.	YOUS	Saïd	Onco et Neurochimie
M.	ZITOUNI	Djamel	Biomathématiques

Professeurs Certifiés

Civ.	NOM	Prénom	Laboratoire
M.	HUGES	Dominique	Anglais
Mlle	FAUQUANT	Soline	Anglais
M.	OSTYN	Gaël	Anglais

Professeur Associé - mi-temps

Civ.	NOM	Prénom	Laboratoire
M.	DAO PHAN	Hai Pascal	Lab. Médicaments et Molécules
M.	DHANANI	Alban	Droit et Economie Pharmaceutique

Maîtres de Conférences ASSOCIES - mi-temps

Civ.	NOM	Prénom	Laboratoire
Mme	CUCCHI	Malgorzata	Biomathématiques
M.	DUFOSSEZ	François	Biomathématiques
M.	FRIMAT	Bruno	Pharmacie Clinique
M.	GILLOT	François	Droit et Economie pharmaceutique
M.	MASCAUT	Daniel	Pharmacie Clinique
M.	ZANETTI	Sébastien	Biomathématiques

AHU

Civ.	NOM	Prénom	Laboratoire
Mme	CUVELIER	Elodie	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique

Mme	DEMARET	Julie	Immunologie
M.	GRZYCH	Guillaume	Biochimie
Mme	HENRY	Héloïse	Biopharmacie
Mme	MASSE	Morgane	Biopharmacie

ATER

Civ.	NOM	Prénom	Laboratoire
M.	GHARBI	Zied	Biomathématiques
Mme	FLEAU	Charlotte	Médicaments et molécules pour agir sur les systèmes vivants
Mme	N'GUESSAN	Cécilia	Parasitologie – Biologie animale
M.	RUEZ	Richard	Hématologie
M.	SAIED	Tarak	Biophysique et Laboratoire d'application de RMN
Mme	VAN MAELE	Laurye	Immunologie

Enseignant contractuel

Civ.	NOM	Prénom	Laboratoire
M.	MARTIN MENA	Anthony	Biopharmacie, Pharmacie Galénique et Hospitalière

Faculté de Pharmacie de Lille

3, rue du Professeur Laguesse - B.P. 83 - 59006 LILLE CEDEX
Tel. : 03.20.96.40.40 - Télécopie : 03.20.96.43.64
<http://pharmacie.univ-lille2.fr>

L'Université n'entend donner aucune approbation aux opinions émises dans les thèses ; celles-ci sont propres à leurs auteurs.

REMERCIEMENTS

A mon maitre de thèse et président de Jury, Mr HENNEBELLE, merci d'avoir accepté de diriger ma thèse et d'avoir été aussi patient durant ces longues années d'écriture.

A Mr WELTI, merci d'avoir accepté de faire partie de mon jury.

A Marie, mon ex-collègue, amie et membre du jury, merci pour tout ce que tu m'as apporté depuis ces années et merci aussi pour ces beaux moments que nous partageons encore.

A mes parents, pour qui le sujet de cette thèse leur tient à cœur. Merci de m'avoir soutenue et supportée pendant mes études et tout au long de l'écriture de cette thèse.

A mon mari, merci d'avoir cru en moi jusqu'au bout.

A mes copines, merci pour tous ces moments passés durant nos années d'études et aussi et surtout nos nombreux week-ends passés et à venir.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	8
SOMMAIRE	9
INTRODUCTION.....	12
ETUDE BOTANIQUE [1] [2]	13
1. Classification.....	13
1.1. La famille des Linacées.....	13
1.2. Le genre <i>Linum</i>	13
2. Répartition géographique	13
DESCRIPTION BOTANIQUE.....	15
1. Appareil végétatif.....	15
2. Appareil reproducteur	16
2.1. La fleur [3][4][5][6]	16
2.2. Le fruit [4]	17
2.3. Les graines [4][7]	18
3. Développement [8].....	19
CARACTERISTIQUES ANATOMIQUES ET COMPOSITION	20
1. La tige.....	20
1.1. Morphologie	20
1.1.1. La croissance	21
1.1.2. Le développement.....	21
1.2. Composition [8].....	22
1.2.1. La cellulose.....	22
1.2.2. Les pectines	23
1.2.3. Les protéines et lignines	24
2. La graine.....	24
2.1. Morphologie [6]	24
2.2. Composition [6].....	24
2.2.1. Les Lignanes [6] [9] [10].....	25
2.2.1.1. Qu'est ce qu'un phyto-estrogène ?	27
2.2.1.2. Effets des phytoestrogènes sur l'organisme	28
2.2.1.3. Les précautions d'emplois des phytoestrogènes.....	28
2.2.2. Les mucilages [6].....	29

2.2.3.	L'huile	30
2.2.3.1.	Les acides gras [15]	31
2.2.3.1.1.	Les acides gras saturés.....	32
2.2.3.1.2.	Les acides gras mono insaturés	32
2.2.3.1.3.	Les acides gras poly-insaturés	33
2.2.3.1.4.	Les autres acides gras	35
2.2.3.2.	Les besoins physiologiques minimum en acides gras [15].....	35
2.2.3.2.1.	Les besoins en AG totaux.....	36
2.2.3.2.2.	Les besoins en acide linoléique	36
2.2.3.2.3.	Les besoin en acide α -linoléique	37
2.2.3.2.4.	Rapport acide linoléique/acide α -linoléique.....	37
2.2.3.2.5.	Les besoins en AGPI n-3 à longue chaîne (DHA et EPA).....	38
LES UTILISATIONS DU LIN		39
1.	La fibre et les anas.....	39
1.1.	Transformation	39
1.1.1.	Le rouissage [8]	39
1.1.2.	Le teillage [8].....	39
1.1.3.	La filature [8].....	40
1.1.4.	Le tissage [16]	40
1.2.	L'utilisation des anas et fibres de lin.....	40
1.2.1.	Les anas [8].....	40
1.2.2.	La fibre [8] [17]	41
1.2.2.1.	Linge de maison et habillement.....	41
1.2.2.2.	Matériaux composites.....	42
1.2.2.3.	Papiers fins et corderie	42
2.	L'huile	42
2.1.	Transformation de l'huile de lin.....	43
2.1.1.	Extraction par pression à froid [19].....	43
2.1.2.	Extraction chimique [19] [20]	45
2.2.	Les utilisations de l'huile de lin	45
2.2.1.	L'huile de lin dans l'industrie.....	45
2.2.2.	L'huile de lin en cosmétique	46
2.2.3.	L'huile de lin en nutrition.....	46
2.2.3.1.	Santé cardiovasculaire	46
2.2.3.2.	Effet de l'huile de lin sur la dermatite atopique	47

2.2.4.	L'huile de lin par voie locale	49
3.	La graine.....	50
3.1.	Transformation de la graine	50
3.2.	L'association Bleu-Blanc-Cœur	51
3.3.	Les utilisations de la graine de lin	52
3.3.1.	La graine comme laxatif	52
3.3.2.	La graine de lin contre les signes de la ménopause	53
3.3.2.1.	Les bouffées de chaleur	54
3.3.2.2.	La dépression.....	54
3.3.3.	La graine contre le cancer [10][33][34].....	55
3.3.3.1.	L'ALA	56
3.3.3.2.	Les lignanes	56
3.3.3.3.	Les fibres alimentaires.....	57
3.3.4.	La graine de lin et les maladies cardio vasculaires.....	58
3.3.4.1.	La graine contre l'obésité [28][36].....	58
3.3.4.2.	La graine contre le diabète [37].....	60
3.3.4.3.	Effet de la graine de lin sur l'inflammation [38].....	61
3.3.5.	La graine de lin comme antidépresseur [44]	63
3.3.6.	La graine en cosmétique [45] [46].....	66
	CONCLUSION	67
	ANNEXE 1 : chaussettes de contention ORIGIN LIN®	68
	ANNEXE 2 : Boston Carpal Tunnel Questionnaire.....	69
	ANNEXE 3 : crème hydratante composée de lin.....	70
	BIBLIOGRAPHIE DES FIGURES	71
	BIBLIOGRAPHIE	73
	TABLE DES FIGURES.....	78

INTRODUCTION

Notre société actuelle a pris conscience de la nécessité du retour à la nature et du respect de l'environnement. Que se soit dans les produits industriels ou énergétiques, cette tendance se confirme et dans tous ces domaines, le lin sort son épingle du jeu et s'inscrit dans cette logique écologique.

En effet, si depuis des millénaires le lin est connu en tant que textile, ces dernières années, on le retrouve dans de nombreuses autres utilisations : matériaux composites, isolation, nutrition et cosmétique. Pour sa fibre, son bois ou ses graines la demande de lin est croissante, il pousse sur la bande côtière entre Caen et Amsterdam, notre région est donc la première impactée.

En pharmacie, on retrouve cette tendance de transition écologique, nos patients sont demandeurs de produits naturels et on voit l'offre s'élargir de manière significative. Notre rôle de pharmacien dans l'éducation à la santé est primordial pour aider la population à prendre conscience de l'importance de la nutrition dans la santé et la prévention de nombreuses maladies.

Le lin, par ses nombreuses utilisations s'impose donc comme une plante essentielle.

1. Classification

Le lin appartient au règne des plantes :

- Grade : Rhizophytes
- Division : Spermatophytes
- Sous-division : Angiospermes
- Classe : Eudicots
- Sous-classe : Fabidées
- Ordre : Malpighiales
- Famille : Linacées
- Genre : *Linum*

1.1. La famille des Linacées

Les plantes de la famille des Linacées sont des plantes herbacées à feuilles simples entières alternes. La fleur est cyclique et pentamère. Le fruit est une capsule et leurs graines sont oléagineuses.

1.2. Le genre *Linum*

Le genre *Linum* comprend plus de 200 espèces différentes dont celle du lin cultivé : *Linum usitatissimum* L. Il est composé de tiges grêles renforcées par de longues fibres, des feuilles allongées sans stipules, une fleur avec 5 sépales, une corolle bleutée à pièces légèrement tordues et un fruit qui est une capsule à 5 loges.

2. Répartition géographique

Le lin est cultivé sous des climats tempérés et humides. En Europe, les cultures sont localisées sur le littoral de la mer Baltique, de la mer du Nord et de la Manche.

En France, elles se trouvent surtout dans la région du Nord, en Normandie, en Picardie, et au Nord de l'Ile de France, notamment en Seine-et-Marne.

La culture du lin demande très peu d'engrais, le lin sait utiliser toutes les ressources naturelles du sol et il n'a pas besoin d'irrigation. De plus, la culture du lin utilise très peu de pesticides et d'herbicides. Pour exemple, il demande 5 fois moins d'intrants (engrais et pesticides) que le coton.

DESCRIPTION BOTANIQUE

1. Appareil végétatif

Le lin est une plante herbacée, annuelle et dressée.

Il existe à peu près 100 variétés de lin cultivé, on distingue :

- le lin textile : avec une tige longue (de 80 à 120 cm), peu ramifiée et des petites graines.
- le lin oléagineux : avec une tige courte (de 50 à 70 cm) et des graines plus ou moins grosses



Figure 1 - Plante de lin

Le lin a une racine pivotante (de 90 à 120 cm) avec de nombreuses racines secondaires fibreuses [figure 1].

La tige se termine par une inflorescence en cyme, couverte d'un revêtement cireux. Sa croissance est rapide, elle peut aller jusqu'à un mètre de hauteur. Ses feuilles sont simples allongées, sessiles, trinervurées, alternes, linéaires, lancéolées et entières. Elles ont une

longueur de 25 à 35 mm, une largeur de 3 à 5 mm, l'espacement entre 2 feuilles est de 15 cm. Leur insertion est spiralée, formée par la superposition de 3 hélices foliaires [figure 2].



Figure 2 - Tige avec feuilles de lin

2. Appareil reproducteur

2.1. La fleur [3][4][5][6]

C'est une fleur pentamère à pétales bleues, solitaire et portée par des ramifications grêles [figure 3].

Elle est hermaphrodite et autogame, et ne vit que quelques heures.



Figure 3 - Fleur de lin

Sa formule florale est : $5S + 5P + 5E + (5C)$

- le calice est formé de 5 sépales, pièces vertes libres et pointues (rôle de protection)

- la corolle est formée de 5 pétales, pièces bleues, blanches ou rosées violacées libres (indépendantes), 2 à 3 fois plus longues que les sépales (rôle d'affichage par rapport aux insectes)
- l'androcée formé de 5 étamines (organe mâle), qui sont recouvertes de pollen humide aggloméré. Les grains de pollen ne seront pas transportés par le vent mais par les insectes attirés par le nectar et le pollen.
Les anthères (parties terminales des étamines) sont ovales et aplaties. Le long des 2 artères latérales une fente de déhiscence se produit permettant aux parois de s'écarter et de s'enrouler vers l'extérieur afin de laisser échapper les grains de pollen.
- le gynécée (organe femelle) est formé de 5 carpelles séparés par 5 fausses cloisons

2.2. Le fruit [4]

Le fruit est une capsule issue de l'ovaire, cette capsule se compose de 5 loges comprenant chacune 2 graines et séparées par une fausse cloison plus ou moins ciliée, on observe à la base les pièces du calice persistant et au sommet une légère pointe [figure 4].



Figure 4 - Capsule de lin

2.3. Les graines [4][7]

Elles sont aplaties, ovales, lisses, brillantes et de couleur brune. Longues de 4 à 6 mm, elles possèdent une extrémité arrondie et l'autre en pointe [figure 5].



Figure 5 - Graines de lin

Leur aspect brillant est dû à une épaisse cuticule sous laquelle se trouvent des couches de pigments et de mucilages. L'épaisseur de la pellicule externe (2 fois plus épaisse que les autres graines oléagineuses) explique la faible digestibilité de la graine crue.

Sous cette couche épaisse externe, il existe des cotylédons : feuilles primordiales, riches en huile qui enserrant l'embryon de la future plantule, ainsi que des antioxydants naturels : les lignanes.

Pour la protéger des oiseaux, cette graine contient également des facteurs antinutritionnels qui appartiennent à la famille des cyanogènes.

L'épaisse paroi de la graine très fibreuse et très solide, les facteurs antinutritionnels et les antioxydants naturels forment un puissant système de protection des oméga-3 ($\Omega 3$) contenus dans la graine de lin. La consommation de ces graines crues ne permet pas d'assimiler les acides gras indispensables au bon fonctionnement de l'organisme, on préfère donc les

consommer cuites. En effet, la cuisson va permettre de détruire toutes ces barrières pour la libération des $\Omega 3$.

3. Développement [8]

La croissance du lin est rapide, de la levée à la maturité il y a une durée d'à peu près 120 jours au cours de laquelle les tiges atteignent leur hauteur maximale et mûrissent.

Les étapes de son développement sont bien distinctes :

- la levée jusqu'au stade de 4 cm (en avril).
Cela dure de 8 à 15 jours, la longueur des racines atteint 10 fois la hauteur des plantules.
- de 4 cm à 10 cm (en mai).
Cette phase dure un mois, les racines explorent la terre jusqu'à 60 cm de profondeur.
- de 10 cm jusqu'à la première fleur (en mai et juin).
C'est une période de 2 mois où le lin est sensible à la verse.
Le début de la croissance est rapide jusque 5 cm par jour en condition douce et humide.
Vers 40 cm, les plantes passent du stade végétatif au stade reproducteur, leur couleur tire alors vers le vert tendre.
- la floraison (en juin).
Cette période dure de 1 à 3 semaines, on atteint alors la longueur maximale des tiges.
La floraison est étagée et très dépendante des conditions météorologiques, elle conditionne la fructification et l'élaboration du rendement en graines, elle est pénalisée quand les températures dépassent 25°C. A la fin de la floraison, les capsules sont formées et les anciennes feuilles en bas des tiges commencent à tomber.
- la maturation (en juillet).
La couleur vire du vert tendre au jaune, les capsules brunissent, les tiges se défolient presque entièrement et les graines mûrissent, c'est le moment de la récolte.

CARACTERISTIQUES ANATOMIQUES ET COMPOSITION

1. La tige

1.1. Morphologie

La tige de lin peut atteindre une hauteur proche de 1m pour un diamètre de 2mm environ. C'est la tige qui contient la fibre [figure 6].

En effet, la fibre n'est pas directement accessible et sa formation, durant toute la période de végétation du lin, est sous l'influence des conditions de cultures. La moindre variation (climat, sol, conduite culturale) durant la période de végétation peut impacter sa formation. La longueur de la fibre peut donc être très variable allant de 10 et 150 mm de long pour un diamètre de 10 à 50 μm .

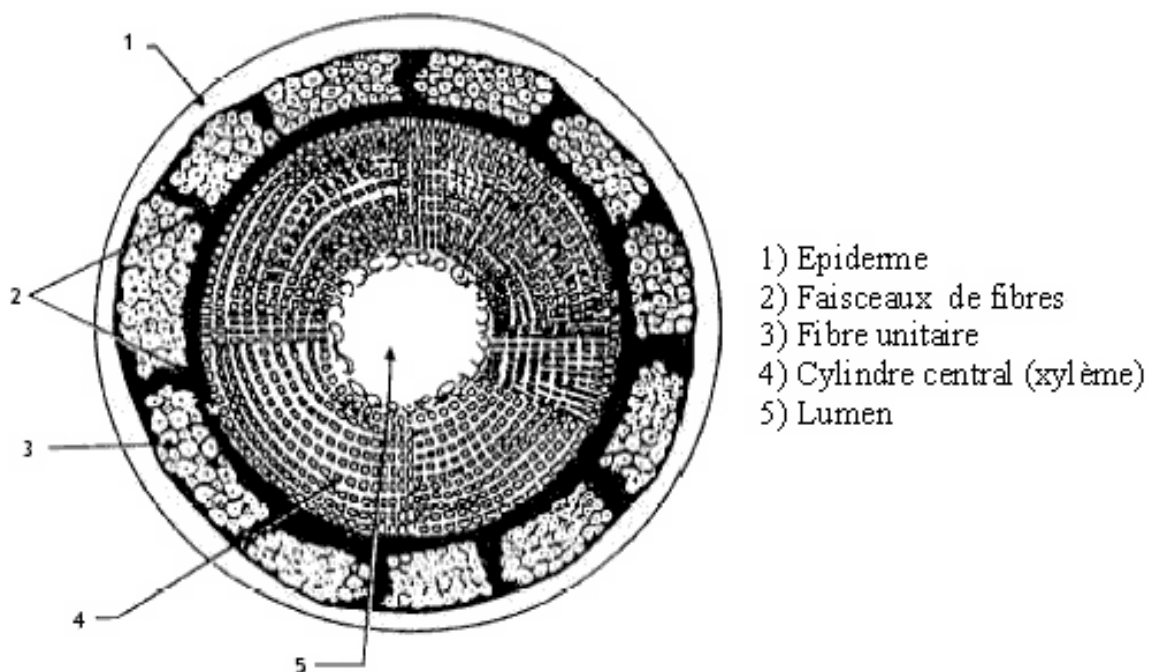


Figure 6 - Coupe transversale d'une tige de lin

1.1.1. La croissance

De la levée jusqu'à la floraison, la tige est en extension, elle évolue verticalement. Les conditions de cette croissance sont essentielles pour la qualité des fibres qui doivent être fines et longues.

On distingue les étapes suivantes :

- De la levée jusque 4 cm : début de la différenciation des fibres élémentaires par épaissement de la paroi de certaines cellules.
- De 4 à 10 cm : augmentation du nombre de fibres élémentaires et organisation en faisceaux fibreux. Les fibres d'un faisceau sont associées aux faisceaux vasculaires qui alimentent la feuille, ce faisceau technique de fibres est donc interrompu par cette insertion foliaire. Ainsi, le nombre de faisceaux sera déterminé par le nombre de feuilles et la longueur par la position géographique des insertions foliaires dans le cortex des tiges, 20 à 40 faisceaux contenant chacun 20 à 40 fibres élémentaires. C'est à cette étape que le nombre de fibres est fixé.
- De 10 cm jusqu'à la floraison : phase d'élongation apicale et bidirectionnelle pour former des « tubes » creux à paroi épaisse, fermés à leurs extrémités. A ce stade c'est la longueur des fibres élémentaires qui est fixée.

1.1.2. Le développement

Il a lieu au cours de la floraison. La tige développe des cellules nouvelles constitutives, elle évolue horizontalement.

Cette phase lui assure une paroi épaisse importante qui lui servira pour les différentes fonctions de soutien, de protection, de stockage de signaux informationnels et de transport. Cette paroi lui permet de puiser les éléments nécessaires à son métabolisme et rejette les sécrétions et déchets qu'elle élabore, ce qui confère à la fibre ses propriétés physiques et mécaniques : résistance, élasticité, hydrophilie. [8]

Au cours du développement, il est observé des dépôts stratifiés de cellulose dans la cellule, ces dépôts structurent la membrane déjà étirée.

Du semis aux $\frac{3}{4}$ de la croissance, on a une augmentation constante de la durée du jour donc le nombre de cellules et de couches fibreuses augmente, il diminue lors du dernier quart de croissance. Ce phénomène est accentué par l'arrivée de la plante à sa sénescence qui se concrétise par la compétition nouvelle entre synthèse de cellulose pour la fibre et synthèse de lipides pour la graine.

A la base de la plante on observe donc des fibres peu nombreuses immatures ou semi creuses car, moins exposées au soleil, elles reçoivent moins d'énergie.

En cas de fortes pluies, le lin peut verser, dans ce cas le soleil ne pourra pas agir sur les capteurs chlorophylliens des feuilles couchées, les cellules ne pourront s'enrichir complètement formant des cellules creuses voire vides. [4]

1.2. Composition [8]

1.2.1. La cellulose

La cellulose est un glucide constitué d'une chaîne linéaire de molécules de D-glucose. Les molécules de cellulose associées entre elles forment des microfibrilles, qui elles-mêmes associées en couches, forment la paroi fibrillaire de la fibre de lin.

La cellulose représente approximativement 65 % de la masse des fibres matures. Au niveau de la paroi primaire de la fibre, le degré de cristallinité de la cellulose est inférieur à 50%, ce qui assure une certaine souplesse pour l'élongation. Dans la paroi secondaire, la fibre est mature, le degré de cristallinité de la cellulose atteint 70%, ce qui est responsable de la haute ténacité et du faible pouvoir d'allongement à la rupture.

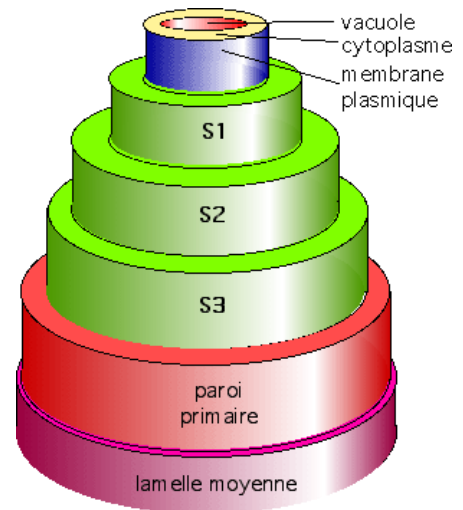


Figure 7 - Paroi de fibre de lin et son schéma explicatif

On observe sur la figure 7 la lamelle moyenne (plus sombre), la paroi primaire mince et la paroi secondaire très épaisse, on distingue aussi les microfibrilles cellulosiques.

C'est la cellulose qui donne aux fibres de lin leur caractère solide et résistant à l'usure. Cependant, elles ont une mauvaise tenue à la pliure et donc une grande froissabilité.

1.2.2. Les pectines

Elles représentent de 25 à 35 % de la masse des fibres matures, c'est l'essentiel du ciment qui colle les fibres élémentaires entre elles dans les faisceaux.

Les pectines se trouvent dans la paroi primaire des fibres mais ne participent presque pas à la structure de la paroi secondaire.

Elles donnent des réseaux stables et rigides à larges mailles afin de retenir de grandes quantités d'eau, ce qui confère à la fibre de lin son caractère hydrophile, important pour son élasticité au cours du développement. De plus ces fibres ont un pouvoir tampon, c'est-à-dire qu'elles ont la capacité de neutraliser les écarts de température et/ou d'hygrométrie.

C'est ce qui apporte aux vêtements en lin une capacité de limiter la transpiration et de dégager une sensation de fraîcheur par temps chaud.

1.2.3. Les protéines et lignines

Les protéines ainsi que les lignines se mélangent aux pectines dans la matrice de la paroi des fibres de lin.

L'incrustation de lignines permet d'augmenter la cohésion et la stabilité du composite apportant alors de la résistance aux forces de rupture et à l'écrasement

2. La graine

2.1. Morphologie [6]

La graine de lin est allongée, ovoïde et aplatie. Elle est arrondie à l'une de ses extrémités et pointue à l'autre. Son tégument est brun-rouge foncé ou jaune, lisse et brillant. Le hile forme une légère dépression près de l'extrémité en pointe.

L'observation au microscope après pulvérisation montre :

- les cellules du tégument externe qui sont des cellules collenchymateuses arrondies associées à des cellules scléreuses allongées.
- les cellules du tégument interne : cellules polygonales pigmentées en orange-brun, du parenchyme de l'albumen ainsi que des cotylédons riche en huile qui enserrant l'embryon de la future plantule.

2.2. Composition [6]

La graine de lin est composée de

- 35 à 45 % d'huile
- 20 à 25 % de protéines
- 10 % de mucilage
- Des hétérosides cyanogènes (linustatine, néolinustatine, linamaroside)
- Des glucosides de lignanes (sécoisolaricirésinol, matairésinol)
- Des fibres
- Des vitamines et des minéraux

L'huile de la graine contient de nombreux acides gras polyinsaturés (AGPI), qui appartiennent à la famille des $\Omega 3$, $\Omega 6$ et des $\Omega 9$.

La linustatine et la néolinustatine renferment une fonction cyanure liée à 2 molécules de glucose, cette fonction cyanure sera inactivée par la cuisson de la graine (chaleur et trempage). De plus, ces substances ainsi que les lignanes sont des substances hydrosolubles c'est-à-dire qu'elles n'accompagneront pas l'huile extraite de la graine. L'huile ainsi extraite deviendra comestible mais aussi très réactive vis-à-vis de l'oxygène donc très instable. C'est pourquoi son usage sera principalement industriel (peinture, encre, linoléum, mastic et vernis) pour ses propriétés oxydantes lui conférant un pouvoir siccatif qui accélère le séchage et le durcissement.

2.2.1. Les Lignanes [6] [9] [10]

Les glucosides du sécoisolaricirésinol (SDG) [figure 8] ainsi que les glucosides du mairésinol seront dégradés par la flore intestinale en entérodiol (ED) [figure 9] et entérolactone (EL) [figure 10] qui sont des phyto-œstrogènes pouvant aider à équilibrer le niveau hormonal. Ils ont une structure proche (cycle et groupements hydroxyles) des hormones sexuelles, leur permettant ainsi de se lier aux récepteurs aux œstrogènes.

De plus, ce sont des composés phénoliques avec des propriétés antioxydantes afin de réduire l'activité des radicaux libres qui endommagent les cellules.

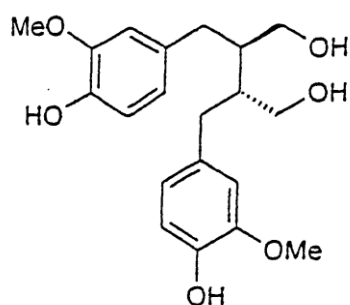


Figure 8- Glucosides du sécoisolaricirésinol (SDG)

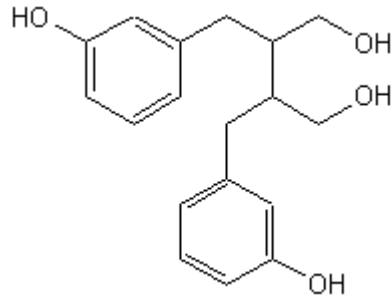


Figure 9- Entérodol (ED)

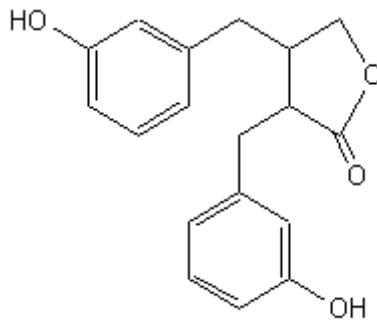


Figure 10- Entérolactone (EL)

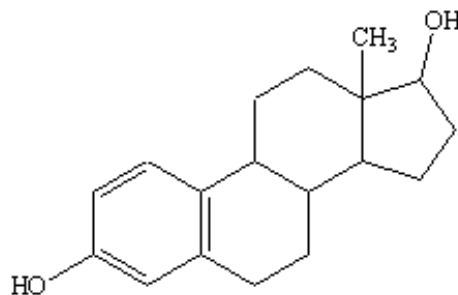


Figure 11- Oestrogène

Les lignanes se fixent sur les récepteurs aux oestrogènes, et agissent comme un composé oestrogénique ou bloquent l'effet des oestrogènes endogène. Ils exercent donc un contrôle dans le signalement des messages à l'intérieur des cellules qui répondent à l'oestrogène et modifient les niveaux d'oestrogènes endogènes qui sont fabriqués par l'organisme.

2.2.1.1. Qu'est ce qu'un phyto-estrogène ?

Les phyto-oestrogènes sont des micro-constituants de certains végétaux. Ils sont classés en cinq catégories selon leur structure de base.

Ainsi, on distingue les isoflavones, les isoflavanes, les flavanones, les coumestanes et les lignanes. [11]

Les isoflavones sont les molécules présentes dans la graine de soja et dont les représentants majeurs, la génistéine et la daidzéine, ont une grande parenté structurale avec l'oestradiol. Il s'agit des molécules les plus utilisées en santé humaine. On en trouve également dans les pois chiches et le thé vert.

Les isoflavanes sont des molécules issues de la réglisse. On retrouve principalement la glabridine, qui induit des modifications sur l'utérus des rats, et l'équol qui est la forme active de la daidzéine métabolisée par la flore bactérienne intestinale.

Les flavanones, proches des isoflavones, comprennent la 8-prénylnaringénine (présente dans le houblon), la 6-prénylnaringénine, le xanthohumol et l'isoxanthohumol.

Parmi les coumestanes, seul le coumestrol a été identifié comme doué d'activité oestrogénique. On le retrouve dans les plantes fourragères comme le trèfle, le soja ou l'alfafa (aussi nommé luzerne).

Enfin, les lignanes, qui comprennent des composés précurseurs d'autres molécules à action hormonale. En effet, ils sont convertis par la flore intestinale en entérodiols et entérolactones. On les retrouve dans le riz, le blé, l'orge, le seigle, l'avoine, le pamplemousse, le lin, les poires, les pommes, les cerises, les prunes, les oranges, les fraises, les concombres, les tomates, les lentilles, les haricots secs, les flageolets et l'ail [12].

Il est à noter que les phyto-oestrogènes sont souvent liés à un glucoside mais que seule la forme non liée (aglycone) est active dans l'organisme [11]. Cette forme libre possède toujours deux groupements hydroxyles opposés qui permettent la liaison aux récepteurs oestrogéniques. Ainsi, la forme aglycone peut avoir des effets oestrogéniques mais aussi des effets contraires

s'il y a compétition avec les hormones endogènes selon le rapport phyto-oestrogène/oestradiol du milieu.

2.2.1.2. Effets des phytoestrogènes sur l'organisme

Les phyto-oestrogènes possèdent des structures moléculaires proches de celles des oestrogènes et de l'oestradiol en particulier. Ils peuvent interagir avec certains récepteurs hormonaux et engendrer diverses réponses. On leur prête ainsi des propriétés anti-bouffées de chaleur, propriétés qui diffèrent souvent d'une femme à l'autre, en raison peut-être du mode de vie et de la métabolisation individuelle des phytoestrogènes. Ils auraient également un effet bénéfique sur le bilan lipidique. Ils sont aussi doués d'autres propriétés non hormonales comme des effets antiprolifératifs, antitumoraux et peuvent agir sur divers tissus comme la thyroïde ou le système immunitaire [12].

Les populations asiatiques, fortes consommatrices de soja, développent moins de cancers du sein, de problèmes cardiovasculaires et se plaignent moins de bouffées de chaleur. Cependant, il faut pondérer cette constatation par le suivi médical qui est différent d'un continent à l'autre, les cancers étant peut-être moins bien diagnostiqués en Asie. De plus, les résidents orientaux consomment également beaucoup de poissons et moins de viandes, de confiseries et de sodas. Il paraît probable que l'ensemble de ces mesures soit à l'origine du plus faible risque de maladies pour ces populations [13].

Enfin, il faut rappeler que selon le phyto-oestrogène, la dose absorbée et la concentration hormonale du tissu cible, l'effet induit sera oestrogénique ou au contraire anti-oestrogénique. En cela, ils sont qualifiés de SERMs (Modulateurs Sélectifs des Récepteurs aux Oestrogènes), c'est-à-dire ayant des activités hormonales sur certains tissus et non hormonales sur d'autres. Cela dépend également de la présence d'activateurs ou d'inhibiteurs de transcription présents dans ces tissus [11] [14].

2.2.1.3. Les précautions d'emplois des phytoestrogènes

Les phyto-oestrogènes sont actuellement controversés du fait de leur contre-indication en cas d'antécédent personnel ou familial de cancer hormonodépendant au vu du développement de tumeurs cancéreuses chez certains animaux ayant été supplémentés en phyto-oestrogènes. En

effet, ils sont capables d'induire, à doses pharmacologiques c'est-à-dire élevées, une prolifération du tissu mammaire. Les phyto-oestrogènes sont aussi suspectés de déplacer le tamoxifène, molécule anticancéreuse employée dans le traitement du cancer du sein hormono-dépendant. Ce médicament agit en bloquant les récepteurs aux oestrogènes et si les phyto-oestrogènes le déplacent, il ne sera plus efficace [13].

Ainsi, l'Anses a publié un rapport concernant les phyto-oestrogènes et en a conclu par le maintien de cette contre-indication et en restreignant à 1 mg/kg/j la dose recommandée de phyto-oestrogène pour les autres personnes non à risque. En effet, trop peu d'études ont été menées et elles sont souvent trop discordantes pour pouvoir conclure de manière sûre. Le principe de précaution s'applique donc [11].

2.2.2. Les mucilages [6]

Ce sont des macromolécules osidiques qui se dissolvent au contact de l'eau pour former des solutions colloïdales ou des gels.

Le mucilage de lin peut être divisé en une fraction neutre ou arabinoxylane ramifié composée de D-xylose, L-arabinose, D-glucose et D-galactose et une fraction acide composée de L-rhamnose et d'acide D-galacturonique. Les polysaccharides gonflent au contact de l'eau en formant un gel volumineux qui augmente la masse, le degré d'humidité et l'acidité du bol fécal stimulant ainsi le péristaltisme et facilitant l'exonération. De plus, il recouvre la muqueuse intestinale permettant de la protéger en cas de processus inflammatoire.

Il est aussi recommandé en cataplasme pour apaiser l'irritation de la peau.

La graine de lin n'est donc pas toxique si elle est accompagnée de la consommation d'un grand volume d'eau. Sinon il y aurait un risque de bézoard : corps étranger formé de débris non digérés.

2.2.3. L'huile

Il existe une huile de lin impropre à la consommation car très sensible à l'oxydation qui s'utilise dans l'industrie. Cette huile à usage industriel sera obtenue par pression à froid puis à chaud des graines de lin mures, séchées puis triturées. Elle peut aussi être obtenue après extraction par un solvant.

L'huile de lin alimentaire, elle, est obtenue par pression à froid uniquement des graines, ensuite, l'huile sera filtrée puis stockée à l'abri de la lumière et de la chaleur afin d'éviter son rancissement.

Elle contient [6]

- 3 à 8 % d'acide palmitique (C16 : 0)
- 2 à 8 % d'acide stéarique (C18 : 0)
- 11 à 35 % d'acide oléique (C18 : 1)
- 11 à 24 % d'acide linoléique (acide gras $\Omega 6$) (C18 : 2)
- 35 à 65 % d'acide α -linoléique (acide gras $\Omega 3$) (C18 : 3)
- moins de 1 % d'acide arachidique (C20) et d'acide palmitoléique (C16 : 1)

La formule brute de l'acide linoléique (LA) est $C_{18}H_{32}O_2$, il est composé d'un acide carboxylique avec une chaîne de 18 atomes de carbone ainsi que 2 doubles liaisons. C'est un acide gras essentiel de la famille des $\Omega 6$.

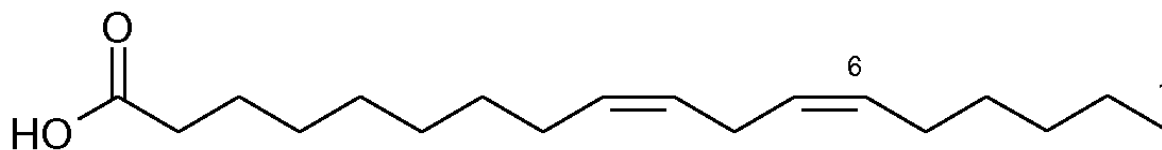


Figure 12- Acide linoléique (LA)

La formule brute de l'acide α -linoléique (ALA) est $C_{18}H_{30}O_2$, il est composé d'un acide carboxylique avec une chaîne de 18 atomes de carbones et 3 doubles liaisons cis. C'est un acide gras essentiel de la famille des $\Omega 3$.

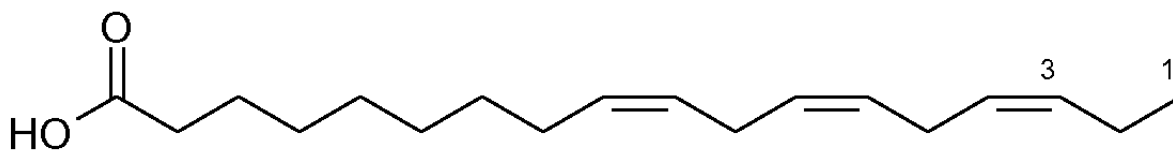


Figure 13- Acide α -linoléique (ALA)

C'est une huile très insaturée, assez pauvre en tocophérols. Elle s'oxyde facilement et est très sensible à l'action de la lumière, on doit donc la conserver à l'abri de la lumière et ne pas la chauffer.

2.2.3.1. Les acides gras [15]

Les AG sont les constituants majeurs des différentes classes de lipides :

- les triglycérides
- les phospholipides
- les sphingolipides
- les esters de cholestérol (en minorité)

Les triglycérides (TG) représentent 95 à 98% des lipides alimentaires ingérés. Ils sont constitués d'une molécule de glycérol estérifiée par trois AG. Dans l'organisme, les triglycérides, situés principalement dans les tissus adipeux, constituent la forme principale de stockage de l'énergie.

Les phospholipides (PL) sont constitués le plus souvent d'une molécule de glycérol estérifiée par deux AG et un acide phosphorique, lui même lié à un alcool. Les phospholipides sont des lipides de structure car ils constituent les membranes cellulaires et en assurent la fluidité.

Les sphingolipides sont également présents dans les membranes cellulaires et jouent un rôle important dans la reconnaissance et la signalisation cellulaires.

Les AG peuvent avoir deux origines différentes : l'alimentation ou la synthèse par l'organisme. On appelle AG indispensables les AG qui ne peuvent être synthétisés par l'organisme et qui ont donc comme seule source possible l'apport alimentaire. LA et ALA sont des AG indispensables.

2.2.3.1.1. Les acides gras saturés

Les AG saturés (AGS) sont soit apportés par l'alimentation, soit synthétisés par l'organisme, en particulier dans le foie, le cerveau et le tissu adipeux. Leur longueur de chaîne varie de 4 à plus de 20 carbones.

Ils forment 2 groupes :

- les AGS à courte et moyenne chaîne qui sont synthétisés par la glande mammaire en lactation.
- Les AGS à longue chaîne qui sont les plus abondants dans l'alimentation. Ce sont les acides laurique (C12:0), myristique (C14:0), palmitique (C16:0) et stéarique (C18:0).

Les AGS à longue chaîne sont des constituants des triglycérides de réserve et assurent donc une part importante de l'apport énergétique.

Ils sont également des constituants des phospholipides et des sphingolipides, des constituants majeurs des membranes. En effet, ce sont les AGS des sphingolipides qui assurent au niveau des membranes l'établissement de zones rigides nécessaires aux activités des enzymes, transporteurs et récepteurs qui s'y trouvent.

2.2.3.1.2. Les acides gras mono insaturés

Les AG monoinsaturés (AGMI) proviennent, d'une part de la synthèse endogène, et d'autre part de l'alimentation.

Les deux principaux AG monoinsaturés sont l'acide palmitoléique (C16 :1 n-7) et l'acide oléique (C18 :1 n-9). Leur synthèse est endogène et réalisée par la delta-9-désaturase qui introduit une double liaison respectivement sur l'acide palmitique et sur l'acide stéarique.

L'acide palmitoléique étant beaucoup plus faiblement synthétisé par rapport à l'acide oléique et quasiment absent de l'alimentation, c'est l'acide oléique qui représente la quasi-totalité des AG monoinsaturés en nutrition humaine. En effet, celui-ci est activement synthétisé par les cellules et très abondant dans tous les aliments d'origine animale et végétale.

L'acide oléique est utilisé comme source d'énergie, il est également constituant de tous les types de lipides, en particulier des triglycérides de réserve.

Il est également le substrat préférentiel de l'enzyme estérifiant le cholestérol. Les esters de cholestérol ainsi formés représentent la forme de transport du cholestérol au sein des lipoprotéines.

Enfin, l'acide oléique est constituant des phospholipides membranaires et participe à la modulation de l'activité des enzymes, des transporteurs et des récepteurs.

2.2.3.1.3. Les acides gras poly-insaturés

Parmi les AG polyinsaturés (AGPI), il existe deux familles :

- Les AG nommées n-6 ou oméga 6 ($\Omega 6$), issus de l'acide linoléique
- Les AG nommées n-3 ou oméga 3 ($\Omega 3$), issues de l'acide α -linoléique.

L'acide linoléique ainsi que l'acide α -linoléique sont deux AG «indispensables» car nécessaire pour la croissance normale et les fonctions physiologiques des cellules, mais non synthétisables par l'Homme. En effet, ils seront synthétisés chez les végétaux à partir de l'acide oléique. L'Homme pourra ensuite convertir ces deux AG indispensables en AG dérivés appelés « conditionnellement indispensables » car rigoureusement requis si les précurseurs sont absents : c'est l'acide arachidonique (C20:4 n-6) pour les AGPI n-6 ainsi que l'acide eicosapentaénoïque (EPA, C20:5 n-3) et l'acide docosahexaénoïque (DHA, 22:6 n-3) pour les AGPI n-3.

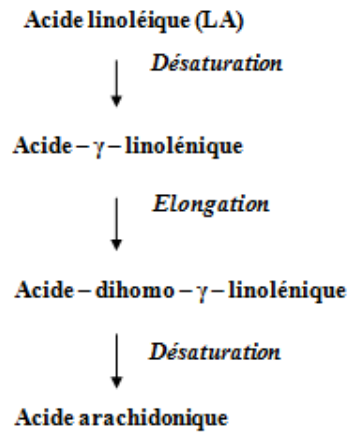


Figure 14- synthèse de l'acide arachidonique

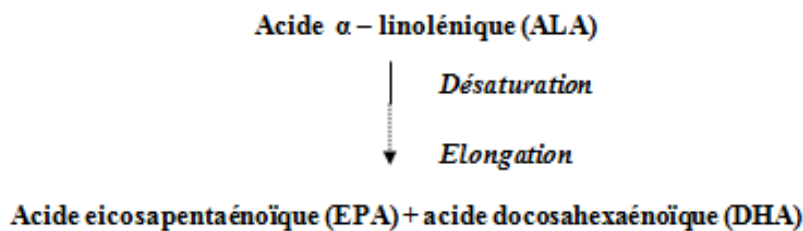


Figure 15- synthèse de l'acide eicosapentaénoïque et de l'acide docosahexaénoïque

L'ensemble des AG indispensables et conditionnellement indispensables constituent les « AG essentiels ».

Les AGPI essentiels ont 5 fonctions principales:

- Sous forme de phospholipides, ces AG sont des constituants universels des membranes biologiques modulant ainsi leur fluidité et l'activité des protéines qu'elles contiennent (enzymes, récepteurs, transporteurs...).
- L'acide arachidonique et l'EPA, via les cyclooxygénases et les lipoxygénases, sont les principaux précurseurs de médiateurs lipidiques (prostaglandines, thromboxanes...) modulant de très nombreuses fonctions cellulaires, pouvant produire selon la famille considérée (n-3 ou n-6) des effets complémentaires ou opposés. Les fonctions de ces médiateurs sont multiples et variées.

On peut citer tout d'abord l'hémostase et l'agrégation plaquettaire (thromboxane A₂ et prostacycline PGI₂), l'activité du système immunitaire, l'activité neuronale et l'inflammation au niveau du système nerveux central, la croissance et la différenciation cellulaires, la lipolyse et de nombreux aspects de la physiologie de la reproduction.

- Le DHA est précurseur de dérivés oxygénés (appelés neuroprotectine D1 et neuroprostanes) lui conférant des fonctions spécifiques dans le cerveau. La neuroprotectine D1 a des effets anti-inflammatoires. Les neuroprostanes exercent des effets neuroprotecteurs.
- Les AGPI essentiels régulent également un grand nombre de gènes par l'activation de facteurs de transcription comme les PPAR (Peroxisome Proliferator Activated Receptor), les SREBP (sterol regulatory element binding protein), le récepteur aux rétinoïdes RXR (retinoid X receptor) et le récepteur hépatique LXR (liver X receptor). Ces actions régulent la β -oxydation, la lipogenèse et la lipolyse expliquant ainsi les propriétés hypolipidémiantes des AGPI. Ils sont également impliqués dans le syndrome métabolique et l'obésité.
- Enfin, les AGPI sont (comme tous les AG) de très bons substrats de la bêta-oxydation et donc des sources énergétiques. Cette réaction peut donc se révéler une très forte concurrente pour les activités spécifiques présentées ci-dessus.

2.2.3.1.4. Les autres acides gras

Les AG sont dits conjugués quand leurs doubles liaisons sont elles mêmes conjuguées c'est à dire séparées par une seule simple liaison (au lieu de deux dans les AGPI natifs).

Les AG trans présentent une ou plusieurs liaisons doubles de configuration géométrique trans (c'est-à-dire que les deux atomes d'hydrogène sont placés de part et d'autre du plan de la double liaison concernée), contrairement aux doubles liaisons cis issues des désaturations où les deux atomes d'hydrogène sont placés du même coté du plan de la double liaison.

2.2.3.2. Les besoins physiologiques minimum en acides gras [15]

Le besoin nutritionnel est la quantité de nutriment nécessaire pour le bon fonctionnement de l'organisme.

L'apport nutritionnel conseillé pour un nutriment donné ou ANC est égal au besoin nutritionnel moyen (BNM), mesuré sur un groupe d'individus, auquel sont ajoutés 2 écarts types, représentant la marge de sécurité statistique pour prendre en compte la variabilité interindividuelle et permettre de couvrir les besoins de la plus grande partie de la population.

Il sera donc établi en fonction du besoin physiologique ainsi que des considérations physiopathologiques.

En 2011, l'ANSES a créé un groupe de travail afin d'étudier la réactualisation des apports nutritionnels conseillés pour les acides gras. En effet, un premier rapport avait été établi en 2001 par l'AFSSA définissant des ANC pour les différents groupes d'acide gras. Depuis celui-ci, des données nouvelles ont été publiées permettant d'affiner et de compléter le rapport. C'est ce que le groupe de travail a analysé de manière approfondie permettant ainsi de reconsidérer les Apport Nutritionnels Conseillés pour les principaux acides gras.

2.2.3.2.1. Les besoins en AG totaux

Le groupe de travail considère que la valeur de 30% de l'apport énergétique (AE) constitue le besoin physiologique minimal en AG totaux. En effet, un apport en lipides inférieur à 30% de l'AE conduit à réduire très significativement les apports en AGPI (DHA) en dessous des besoins.

2.2.3.2.2. Les besoins en acide linoléique

L'évaluation du besoin physiologique minimal en acide linoléique a pour objectif de limiter le déséquilibre entre les deux familles d'AGPI lorsque la consommation en AGPI n-3 est faible. En effet, ce déséquilibre est préjudiciable à la synthèse des AGPI à longue chaîne de la série n-3 (EPA et DHA) et à leur incorporation dans les tissus, ce qui pourrait accentuer un certain nombre de perturbations physiologiques et contribuer à l'apparition de pathologies telles que des affections neuropsychiatriques, les maladies cardiovasculaires, les pathologies inflammatoires, le diabète et l'obésité.

Le groupe de travail considère donc, en accord avec les recommandations internationales que le besoin physiologique minimal en acide linoléique est de 2% de l'AE pour l'adulte, ce qui équivaut à 4,4g/j pour un apport énergétique de 2000 Kcal/j

2.2.3.2.3. Les besoin en acide α -linoléique

Il a été montré récemment chez l'Homme comparativement au rongeur, que l'acide α -linoléique est encore plus catabolisable et très faiblement converti jusqu'au DHA. Il convient donc, afin de couvrir les besoins de la quasi-totalité de la population, de définir pour l'Homme un besoin physiologique minimal plus élevé que la valeur issue antérieurement des études animales sur rongeurs.

Sur la base des données disponibles, et en accord avec les recommandations internationales le besoin physiologique minimal en acide α -linoléique est estimé par le groupe de travail à 0,8% de l'AE pour l'adulte, ce qui équivaut à 1,8g/j pour un apport énergétique de 2000 Kcal/j.

2.2.3.2.4. Rapport acide linoléique/acide α -linoléique

Compte tenu de la compétition entre les deux familles pour la synthèse et la disponibilité de l'EPA et du DHA. Sachant aussi qu'il n'y a ni transformation métabolique, ni substitution fonctionnelle entre les deux familles, le rapport acide linoléique/acide α -linoléique est souvent évoqué.

Il présente cependant moins d'intérêt dès lors que les besoins physiologiques en acides linoléique et α -linoléique sont adéquats et donc que les apports en EPA et DHA sont assurés. Rappelons que les besoins physiologiques en acide linoléique sont de 4,4g/jour pour un apport énergétique de 2000 Kcal/j et que ceux de l'acide α -linoléique sont de 1.8g/j pour un apport énergétique de 2000 Kcal/j.

Néanmoins, ce rapport peut rester un repère pratique dans les cas de déséquilibre par déficit d'apport en acide α -linoléique et/ou par excès d'apport en acide linoléique et plus encore si s'ajoute un déficit d'apport en EPA et DHA.

2.2.3.2.5. Les besoins en AGPI n-3 à longue chaîne (DHA et EPA)

Les données nouvelles, et en particulier celles relatives à la très faible conversion de l'acide α -linoléique en DHA chez l'Homme, conduisent donc le groupe de travail à définir un besoin physiologique minimal pour le DHA. La valeur retenue est de 250mg/j pour un adulte (0,1% de l'énergie). Elle rejoint la valeur recommandée par d'autres comités de nutrition et correspond aux données de consommation pour la population française.

En ce qui concerne l'EPA, et bien que les fonctions qu'exerce cet AGPI n-3 soient essentielles, le groupe de travail ne dispose pas actuellement d'arguments suffisants pour le considérer comme rigoureusement indispensable et définir un besoin physiologique minimal. En effet, la conversion de l'acide α -linoléique en EPA est significative dès lors que les apports en acide α -linoléique (et en acide linoléique pour des raisons de compétition) sont adéquats.

LES UTILISATIONS DU LIN

1. La fibre et les anas

1.1. Transformation

Après l'arrachage, le lin restera étalé dans les champs afin de pouvoir rouir. Ensuite, il sera ramassé, teillé puis envoyé à la filature pour enfin être tissé.

1.1.1. Le rouissage [8]

Après l'arrachage, les pailles de lin restent étalées dans le champ. Sous l'effet d'une bonne humidité et de températures douces ($>10^{\circ}$) les microorganismes du sol vont sécréter des éléments qui vont permettre la désagrégation des tissus qui entourent les faisceaux de fibres. Cette perte de cohésion tissulaire va faciliter l'extraction mécanique des fibres.

1.1.2. Le teillage [8]

Il se déroule en plusieurs étapes : alignement, égrenage (on arrache les capsules contenant les graines), division, broyage (le bois des tiges est alors fragmenté sous forme d'anas) et battage afin d'extraire et de nettoyer les fibres.

Après ces opérations, on obtient alors différents produits :

- le lin teillé ou filasse, produit noble extrait des pailles
- les étoupes, fibres courtes cassées lors du teillage et faiblement résistantes
- les anas, particules résiduelles du bois des tiges
- les graines

1.1.3. La filature [8]

Les fibres seront peignées puis tordues et enfin étirées afin d'obtenir le fil.

Il existe 2 types de filature :

- la filature au mouillé qui utilise les fibres longues pour obtenir un fil fin lisse lustré solide et régulier qui donnera un tissu de grande qualité.
- la filature au sec pour les étoupes ou le lin teillé craqué par un étirement brutal, le fil sera plus gros et moins lisse, on l'utilisera pour des tissus techniques.

1.1.4. Le tissage [16]

Identique au tissage d'autres fils, il consiste à entrecroiser les fils disposés parallèlement en long avec des fils disposés perpendiculairement.

1.2. L'utilisation des anas et fibres de lin

1.2.1. Les anas [8]

Les anas seront utilisés :

- pour la fabrication de panneaux agglomérés (leur structure alvéolaire apporte un fort pouvoir ignifugé, une bonne isolation phonique, de la flexibilité et une grande résistance à la torsion)
- pour les litières animales (toujours par leur structure alvéolaire, les anas ont une grande capacité d'absorption de l'eau et sont capables de la retenir durablement)
- comme combustible (leur pouvoir calorifique est comparable à celui du bois et leur taux d'humidité est très bas)

1.2.2. La fibre [8] [17]

1.2.2.1. Linge de maison et habillement

On retrouve le lin traditionnellement sous forme de tissu pour le linge de maison ou l'habillement, il procure une sensation de bien-être grâce à son pouvoir d'absorption de l'humidité très important ainsi que son pouvoir isolant. De plus le lin est très solide, lui permettant ainsi de garder sa tenue malgré de nombreux lavages.

Le lin est aussi réputé pour être un antiallergique puissant, à contrario d'autres tissus, les fibres du lin ne retiennent quasiment pas d'éléments allergènes. La texture du lin agit de sorte à empêcher les bactéries de s'y fixer et permet une action antibactérienne très efficace. Le lin est un répulsif à bactéries qui a fait ses preuves et c'est pourquoi il est autant utilisé dans la vie de tous les jours et convient parfaitement pour toute personne souffrant d'allergies ou d'eczéma.

On retrouve aussi les propriétés du lin au service de la compression médicale. En effet, la sensation de chaleur est un symptôme fréquent de l'insuffisance veineuse, c'est aussi un des facteurs aggravant.

En effet, la maladie entraîne une augmentation de la taille des capillaires sanguins, provoquant ainsi une hyperpression des réseaux des petites veines, donc un ralentissement du flux sanguin provoquant une inflammation et donc une augmentation de la température de la peau.

De plus la chaleur ambiante peut entraîner une dilatation des veines et donc le ralentissement du flux sanguin au niveau des jambes aggravant ainsi l'insuffisance veineuse.

C'est pourquoi le laboratoire SIGVARIS MEDICAL® a créé la première chaussette de compression en fibre de lin offrant une chaussette à la fois respirante, résistante et apportant une réelle sensation de fraîcheur. Par la suite, de nombreux autres laboratoires ont sorti leur propre gamme de chaussettes de contention en lin comme les laboratoire Thuasne par exemple.

C'est le caractère hydrophile de la fibre de lin qui permet d'absorber rapidement et efficacement l'humidité. De plus, la structure de la fibre de lin avec de nombreuses zones plates pour une surface de contact importante avec la peau permet d'avoir une évacuation rapide de la chaleur.

La résistance de la fibre alliée à une bonne technique de tricotage en intégrant une fibre rigide à une trame élastique apporte une très bonne résistance aux frottements. [18]

1.2.2.2. Matériaux composites

Ces dernières années, de nombreux travaux d'étude ont été effectués pour utiliser le lin pour les matériaux composites dans différents domaines comme l'aéronautique, le nautisme, l'automobile ou bien encore les équipements sportifs.

Ceci est possible grâce à la faible densité de la fibre de lin, sa rigidité, sa résistance à la rupture, la torsion et la compression ainsi qu'à sa capacité d'absorption des vibrations.

1.2.2.3. Papiers fins et corderie

Le lin est utilisé en papeterie pour des papiers très fins, légers et résistants (papier à cigarettes, papier bible, papier dollar).

On le retrouve aussi en corderie pour les fils à coudre ou fils chirurgicaux, ces derniers sont non résorbables, utilisés pour les hémostases des petits vaisseaux en chirurgie digestive, ils sont composés de fibres de lin torsadés (Linatrix ®).

2. L'huile

Une huile végétale se caractérise par sa composition et sa stabilité oxydative dans le temps. En effet, l'oxydation d'une huile entraîne l'apparition d'odeurs et de composés indésirables rendant l'huile impropre à la consommation.

Le principal facteur de stabilité d'une huile est le degré d'insaturation des acides gras qui la compose. En effet, plus l'huile est riche en acides gras insaturés, plus l'huile sera sensible à l'oxydation. De plus, les composés antioxydants tels que les tocophérols ou les polyphénols présents dans l'huile vont aussi influencer la stabilité oxydative de cette huile. Ceux-ci vont augmenter le temps d'induction de l'oxydation et ralentir la vitesse d'oxydation.

La conservation d'une huile peut aussi influencer sa stabilité. La lumière va favoriser la formation de radicaux libres entraînant des réactions radicalaires en chaîne. La température de

conservation va aussi jouer un rôle important dans la dégradation de l'huile, en effet, une forte température va augmenter la vitesse de dissolution de l'oxygène situé à l'interface air/huile donc augmenter la surface de l'huile disponible à l'oxygène et donc à l'oxygénation. C'est pourquoi il ne faut jamais cuire l'huile de lin mais toujours la consommer crue.

L'huile de lin est particulièrement fragile et instable, son rancissement peut la rendre impropre à la consommation et peut, dans certains cas s'avérer toxique. C'est pourquoi il existe des conditions de conservation précises :

- Une traçabilité des lots, de la pression des graines jusqu'au conditionnement pour optimiser le contrôle de la durée de vie (qui ne doit pas dépasser 1 an, consommation comprise)
- Un volume de conditionnement maximal de 250 ml
- Un conditionnement en matériau opaque ou à l'abri de lumière
- Une durée limite d'utilisation optimale inférieure à 9 mois.

2.1. Transformation de l'huile de lin

L'obtention de l'huile de lin se fait à partir des graines de lin préalablement nettoyées par aspiration d'air afin d'en enlever toutes impuretés (feuilles, tiges...).

Il existe 2 modes d'extraction de l'huile en fonction de l'utilisation prévue:

- l'extraction par pression à froid pour l'huile de lin destinée à l'alimentation
- l'extraction par solvant pour l'huile de lin à usage industriel

2.1.1. Extraction par pression à froid [19]

La méthode d'extraction par pression à froid est une méthode naturelle d'extraction de l'huile à partir d'une matière première. Cette méthode d'extraction est une solution plus saine, plus propre et plus pure qu'une méthode chimique. L'huile obtenue ne contiendra aucun résidu de solvants chimiques, sa couleur et sa saveur seront plus naturelles. Cette méthode ne contient qu'une seule étape : la pression continue.

On utilisera une presse à vis composée d'une trémie, d'une vis sans fin et d'un fourreau. La trémie assure l'alimentation en graine avec un écoulement à la demande par gravité, sans système de gavage. La vis sans fin tourne dans le fourreau perforé ou à barreaux pour

permettre l'écoulement de l'huile. Le fourreau contient des cannelures afin de favoriser le cisaillement de la matière à presser en l'empêchant de glisser le long de la paroi du fourreau. La rotation de la vis assure le transport de la matière première jusqu'à la tête de pressage à l'extrémité du fourreau. La tête de pressage génère une zone de pression qui a pour effet d'exsuder l'huile de la matière première introduite dans la presse.

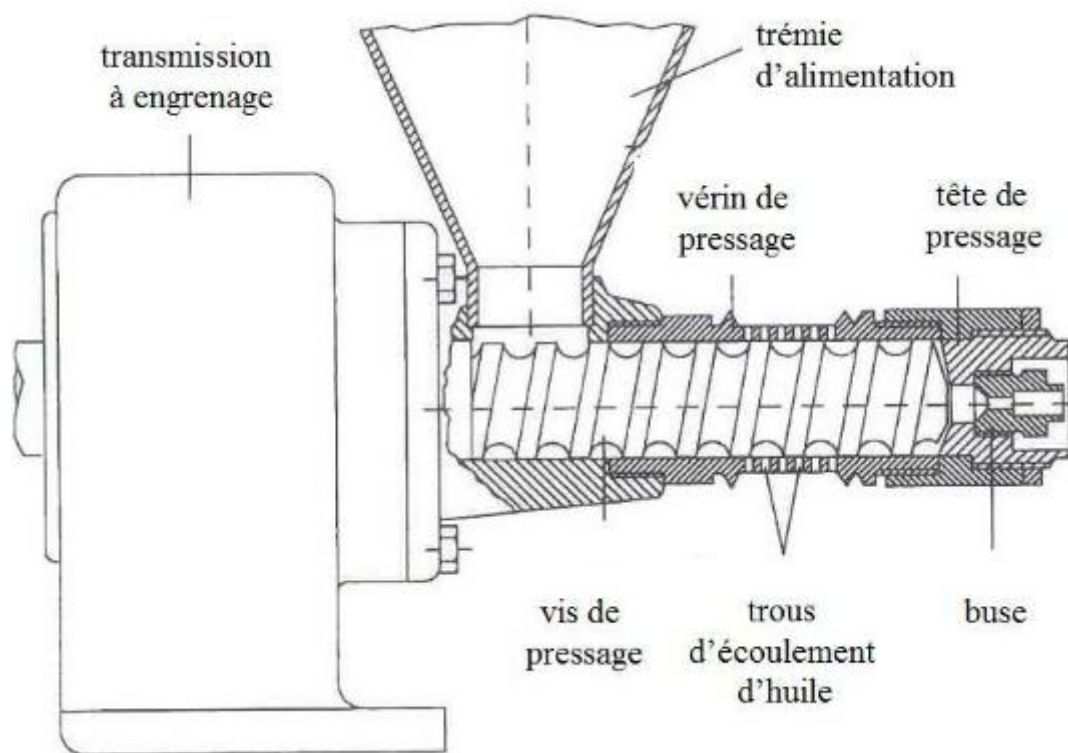


Figure 16- Schéma simplifié d'une presse à vis

Lors du pressage, les forces de frottement entraînent un échauffement de la tête de la vis, la température atteinte pendant le pressage dépend alors de la dureté de la graine ; plus la graine est dure, plus la pression exercée pour en extraire l'huile est importante, causant une plus grande friction et entraînant donc une plus forte augmentation de la température.

L'huile brute obtenue contient des particules fines qui ont été co-extraites lors du pressage. Elles seront séparées de l'huile après une étape de sédimentation afin de séparer les plus grosses particules puis une étape de filtrage dans un décanteur afin d'éliminer les particules résiduelles les plus fines, on obtient alors l'huile de première pression. Cette huile très fragile qui nécessite des conditions de conservation précises sera destinée à la consommation.

L'étape de pressage génère aussi des tourteaux ayant une teneur en huile résiduelle de 10 à 20%. Ils seront ajoutés aux particules fines afin de passer une seconde fois dans la presse et de récupérer l'huile qu'ils contiennent. On obtient alors l'huile brute de seconde pression. Cette huile devra alors subir une étape de raffinage.

Les tourteaux peuvent aussi bien être conservés pour l'alimentation animale de par leur teneur en protéines et en acides gras qui leur procure un certain avantage nutritionnel.

2.1.2. Extraction chimique [19] [20]

Cette méthode d'extraction se fait grâce à un solvant, le plus souvent l'hexane.

L'hexane est un liquide inflammable et incolore dérivé de la distillation fractionnée du pétrole. L'hexane étant liposoluble, s'il est consommé, il s'accumule dans les lipocytes et les organes riches en matières grasses comme le foie ou les cellules nerveuses. La consommation d'hexane est alors cumulative car ni métabolisé ni excrété.

Cette méthode consiste donc à mélanger les graines de lin préalablement broyées dans de l'hexane avec un rapport solide/liquide égale à 1/10. L'huile est alors extraite des graines par macération sous agitation mécanique. Ensuite, le mélange huile/solvant sera chauffé pour faire évaporer le solvant. L'huile alors obtenue présentera des traces d'hexane la rendant impropre à la consommation.

Les effets de l'hexane sur l'organisme peuvent être variés : dermatose d'irritation, irritation oculaire, irritation des muqueuses respiratoires, état euphorique avec sensation d'ébriété puis somnolence avec céphalées, vertiges et nausées pouvant aller dans des cas sévères jusqu'à une atteinte du système nerveux centrale avec dysarthrie, incoordination de la démarche et troubles de la vision. Ces effets sont cependant en partie réversibles.

2.2. Les utilisations de l'huile de lin

2.2.1. L'huile de lin dans l'industrie

L'huile de lin peut être utilisée comme liant et agent durcisseur dans les peintures à l'huile afin de mettre au point les différentes couleurs et d'apporter un séchage rapide de la peinture.

L'huile de lin, agent plastifiant, peut être utilisée dans le traitement du bois, des planchers ou des parquets pour les protéger contre l'humidité, les champignons, les insectes. De plus, elle peut les protéger de la poussière par un effet antistatique. Cependant, l'utilisation de l'huile de lin n'est pas adaptée à la protection du mobilier de jardin car elle noircit au contact de la pluie.

L'huile de lin dans le savon noir peut aussi être utilisée comme nettoyant naturel multi-usages.

2.2.2. L'huile de lin en cosmétique

L'huile de lin a un effet cicatrisant, en effet, l'huile se polymérise au contact de l'air formant une couche qui recouvre les trous de la couche cornée fragilisée. De plus, l'huile de lin protège l'épiderme de la déshydratation en laissant une enveloppe soyeuse et un toucher doux et agréable. En reconstituant la barrière hydrolipidique, le lin apaise les sensations d'irritation et d'inconfort. Il assouplit aussi les tissus et soulage les tiraillements dus à une réaction inflammatoire grâce à son effet émollient.

Les polyholosides qui composent le lin stimulent aussi la synthèse des glycosaminoglycanes, dont l'acide hyaluronique. Les glycosaminoglycanes sont des composants fondamentaux de la matrice extracellulaire du derme, le « tissu de soutien » de la peau. Ces macromolécules essentielles retiennent l'eau dans les différentes couches de la peau, comme une éponge. Grâce à elles, le matelas de soutien est comme regonflé et son élasticité est améliorée. Le lin forme aussi une pellicule protectrice autour du collagène, qui le préserve de l'oxydation et de toutes dégradations.

On observe donc une peau plus hydratée avec plus de fermeté et de densité, moins de relâchement cutané dû au vieillissement des tissus.

2.2.3. L'huile de lin en nutrition

2.2.3.1. Santé cardiovasculaire

La consommation d'huile de lin non chauffée est un excellent moyen d'apporter les acides gras essentiels nécessaire au bon fonctionnement de l'organisme, notamment les omégas 3

dont le précurseur est l'acide alpha-linolénique (ALA). Plusieurs études d'intervention ont démontré les effets bénéfiques de l'ALA sur la santé cardiovasculaire [10].

Par exemple dans la Health Professionals Follow-up Study [21], une augmentation de 1 % en ALA dans l'apport alimentaire a permis une réduction de 40 % du risque de maladies coronariennes non mortelles.

Dans une autre étude, la Lyon Diet Heart Study [22], il a été découvert qu'un régime méditerranéen riche en ALA dans une population ayant déjà survécu à un infarctus du myocarde (IDM) permettait une réduction de 75 % des IDM non mortels et une réduction de 70 % du total des décès par rapport à un groupe témoin (régime faible en ALA).

D'autres études ont prouvé les bénéfices de santé fournis par le lin. En effet, chez des femmes ayant consommé 50 gr de lin moulu par jour pendant 4 semaines, il a été observé une baisse de 9 % du cholestérol sanguin total et de 18 % du cholestérol LDL [23].

Il y a deux manières pour l'ALA de protéger le cœur : il améliore les rythmes cardiaques anormaux et il réduit l'agrégation des plaquettes sanguines.

De plus, certaines études ont démontré qu'un régime riche en ALA permettait de réduire la CRP, biomarqueur inflammatoire.

2.2.3.2. Effet de l'huile de lin sur la dermatite atopique

La dermatite atopique est une réaction cutanée inflammatoire chronique assez courante. Cette maladie est souvent induite par la pollution environnementale. Elle se caractérise par une anomalie de la barrière cutanée induite par une diminution de la quantité de lipides entre les cellules kératinisées ainsi qu'une différenciation anormale des cellules épithéliales de la peau. En effet, les lipides des cellules kératinisées sont responsables de la cohésion entre les cellules mais aussi de la régulation de la barrière cutanée. On peut alors observer l'apparition de différents symptômes comme des rougeurs de la peau, des gonflements, un prurit intense, une infection cutanée et une lichénification.

L'huile de graine de lin contient des teneurs élevées en lipides similaires aux lipides des cellules kératinisées de la peau. C'est pourquoi, une étude réalisée en 2016 et publiée en 2017 a étudié l'effet thérapeutique de l'huile de graine de lin fermentée sur des souris avec des lésions cutanées de type dermatite atopique [24].

Dans cette étude, ont été observés les effets immunologiques et thérapeutiques in vivo de l'huile de graine de lin fermentée sur la peau des souris atteintes par une dermatite atopique. Pour cela, les souris ont été divisées en 3 groupes : un groupe contrôle (avec des souris non traitées), un groupe nommé AE (avec des souris atteintes par une dermatite atopique mais sans traitement) et un groupe nommé AT (avec des souris atteintes par une dermatite atopique et traitées par de l'huile de graine de lin fermentée par voie orale pendant 3 semaines).

Après avoir effectué une coloration à l'hématoxyline et à l'éosine afin d'observer les lésions histologiques, les auteurs ont remarqué que les souris atopiques du groupe AE présentaient des lésions significatives : une hyperplasie, un œdème ainsi que l'augmentation de la distribution capillaire. Cependant, chez les souris du groupe AT, ils ont observé une diminution importante des lésions cutanées histologiques.

Une coloration histochimique avec la coloration de Luna a permis d'observer les changements morphologiques des mastocytes (des cellules du tissu conjonctif avec de nombreuses granulations contenant des médiateurs chimiques, au contact d'un allergène, les mastocytes subiront une dégranulation qui entrainera une réaction allergique). Les souris du groupe AE, avaient de nombreux mastocytes dégranulés tandis que ce nombre était largement réduit chez les souris du groupe AT.

Les auteurs ont également observé une augmentation de l'expression de p-ERK-1 et 2 (un activateur cellulaire ayant un rôle dans la croissance, la prolifération et la différenciation cellulaire) dans le stratum granulosum des souris du groupe AE. Tandis qu'il y avait une diminution de 60% de cette expression dans le groupe AT.

Ces résultats ont donc permis de montrer qu'un traitement par huile de graine de lin fermentée pouvait diminuer in vivo les lésions cutanées de la dermatite atopique.

La coloration immunohistochimique dans les cellules de la papille dermique permet de mesurer le niveau d'expression de TNF-alpha, iNOS, NF-kB et COX-2 (des enzymes et cytokines impliquées dans l'inflammation) afin d'estimer les effets anti-inflammatoires du traitement par l'huile de lin fermentée. Les chercheurs ont alors observé une diminution significative du niveau d'expression des enzymes inflammatoires dans le groupe AT comparé au groupe AE: diminution de 66% de l'expression de TNF-alpha, diminution de 86% de NF-kB, diminution de 65% de COX-2 et diminution de 25% de l'expression d'iNOS.

Le maintien de la barrière lipidique de l'épiderme a été étudié par mesure de la réaction positive au récepteur X du foie (LXR) et à la PKC qui sont impliquées dans le métabolisme

des lipides intercellulaires. Ils ont observé un niveau de LXR dans le cytoplasme des cellules très diminué dans le groupe AE tandis qu'il avait augmenté de 149% chez les souris du groupe AT. De plus, le niveau de PKC dans les kératinocytes endommagés de l'espace intercellulaire du groupe AE avait diminué de 69% par rapport au groupe AT.

Cette étude a montré que l'huile de lin fermentée pouvait soulager les symptômes de la dermatite atopique comme les lésions épithéliales, la rougeur, l'enflure et le prurit grâce à la régulation négative de l'inflammation et à la récupération de la fonction protectrice de la barrière cutanée.

2.2.4. L'huile de lin par voie locale

Une étude publiée en décembre 2016 a comparé les effets d'un gel topique d'huile de graine de lin dans le traitement du syndrome du canal carpien idiopathique léger à modéré face au port d'une attelle de la main [25]. Ont été inclus dans l'étude des patients féminins ou masculins, âgés de 20 à 60 ans et présentant au moins 2 symptômes du syndrome du canal carpien parmi les douleurs nocturnes, les picotements, l'engourdissement, l'hypoesthésie, la paresthésie. Cette étude portait sur 49 patients et 96 mains touchées qui ont été divisées aléatoirement en 2 groupes. Un groupe a été traité par un gel topique d'huile de graines de lin à appliquer matin et soir pendant 3 semaines et l'autre groupe par une attelle de la main à porter la nuit pendant 3 semaines.

Le gel topique a été obtenu à partir de graines de lin brun qui, par pression à froid a donné une huile qui a été stockée dans des récipients noirs fermés. L'huile obtenue a été analysée, elle contenait 5.5% d'acide stéarique, 6.5% d'acide palmitique, 15% d'acide linoléique, 17.5% d'acide oléique et 53.5% d'acide linoléique. Cette huile a été mélangée progressivement avec le carbomère 937 en contrôlant le pH et les propriétés physiques du produit de telle sorte que le produit final ait un pH ayant le moins d'effets irritants possible pour la peau et qu'il ait une texture uniforme sans avoir de sédiments et sans devenir biphasique.

Les résultats ont été mesurés par le Boston carpal tunnel questionnaire qui est l'un des outils le plus fiable et le plus utilisé pour évaluer l'intensité des symptômes et la fonctionnalité du poignet avant et après le traitement dans le syndrome du canal carpien. Ce questionnaire a alors démontré une différence significative entre les 2 groupes, en effet, il a été observé une

amélioration plus importante des symptômes et de la fonction dans le groupe traité par le gel topique d'huile de graine de lin.

Group	Symptom Severity		Function Severity		P Value	Between-Group Comparison P Value	
	Before	After	Before	After		Symptom Severity	Function Severity
Gel	26.8 (7.8)	16.5 (6.2)	17.3 (5.8)	12.3 (5.2)	<.001	<.001	<.001
Splint	22.4 (5.9)	17.8 (4.4)	13.5 (5)	12.2 (3.7)	<.001		

Figure 17- Comparaison des résultats du traitement dans les groupes attelle et gel avant et après intervention.

Cette étude a démontré l'efficacité d'un gel d'huile de lin dans la réduction à court terme des symptômes sensoriels et fonctionnels du syndrome du canal carpien.

Cependant, cette étude ne considère pas le fait que le port d'une attelle ne permet pas de massage contrairement à l'application du gel, ce massage pouvant être positif sur l'expression des symptômes de ce syndrome.

Cette méthode peut donc être efficace en traitement de substitution ou de complément de l'attelle de main, d'autres études sont toutefois nécessaire pour évaluer au long terme les effets.

3. La graine

3.1. Transformation de la graine

Les graines de lin destinées à la consommation sont produites selon un cahier des charges qui précise les variétés et les teneurs en oméga 3, il précise également la cuisson des graines par extrusion afin d'optimiser leur intérêt nutritionnel [26].

L'extrusion permet à la graine de se débarrasser des cyanogènes et de libérer les acides gras afin de renforcer leur biodisponibilité, elle permet aussi de stabiliser le produit en évitant l'oxydation grâce aux antioxydants naturels de la graine de lin (vitamine E et polyphénols).

Les différentes étapes de la cuisson des graines de lin sont :

- le broyage
- l'imprégnation vapeur, c'est la préparation hydrique et thermique du mélange afin d'activer les enzymes naturelles des graines
- la maturation, qui correspond à l'activation des enzymes et la détoxification des graisses avant cuisson ainsi que le repos avant cuisson
- l'extrusion ou la cuisson à forte pression
- le séchage et refroidissement
- le conditionnement

3.2.L'association Bleu-Blanc-Cœur

L'association Bleu-Blanc-Cœur est une association qui organise et contrôle les différentes filières agricoles afin de rééquilibrer notre alimentation. Elle prône le retour des cultures traditionnelles dont le lin qui, par sa richesse naturelle en oméga 3 donne une valeur nutritionnelle élevée. Les graines issues de la culture traditionnelle seront utilisées de différentes manières : soit dans l'alimentation des animaux, soit dans l'alimentation humaine directement. Il y a donc restauration de la chaîne alimentaire permettant d'avoir des produits de meilleure qualité avec une teneur supérieure en oméga 3 afin de participer au rééquilibrage de l'alimentation humaine [27].

Pour une alimentation équilibrée, les recommandations de l'ANSES sont de 2,2 grammes d'oméga 3 par jour et d'un équilibre oméga 6/oméga 3 égal à 5. Les produits de la filière Bleu Blanc Cœur contribuent à atteindre ces objectifs.

Pour appartenir à la filière Bleu Blanc Cœur, on procédera à la substitution de 5% de la ration habituelle en maïs, blé et soja des animaux par des graines de lin extrudées, on obtiendra alors des produits d'élevage destinés à l'alimentation humaine avec un meilleur profil lipidique ainsi qu'une diminution de la teneur en lipides, acides gras saturés et acides gras oméga 6 [28].

En France, une étude a permis de mesurer la biodisponibilité des acides gras oméga 3 et donc l'impact de la chaîne alimentaire sur la santé humaine [29].

Dans cette étude, 80 volontaires sains ont été divisés en 2 groupes (essai et témoin) dans lesquelles les régimes sont qualitativement et quantitativement identiques. Ces régimes ne

diffèrent que par l'origine des produits animaux. Après 35 jours de régime, une chromatographie des acides gras circulants et membranaires a été effectuée.

Les résultats ont démontré un enrichissement des lipides sanguins humains en acides gras précurseurs ALA ainsi qu'en acides gras longues chaînes EPA et DHA. Cet enrichissement en acides gras longues chaînes peut s'expliquer puisque leur processus de synthèse par des mécanismes enzymatiques d'élongation et de désaturation est largement entamé chez l'animal d'élevage avant que ces acides gras ne soient métabolisés par l'Homme.

Cette étude a donc démontré qu'une faible modification de l'alimentation animale pendant une courte durée permettait d'avoir des effets notables sur la composition en acides gras des produits destinés à l'alimentation humaine. En effet, ces produits avaient une diminution de leur teneur en acides gras oméga 6 ainsi qu'une augmentation de leur teneur en acides gras oméga 3, confirmant donc la faisabilité et l'efficacité de cette méthode comme mesure d'amélioration du profil nutritionnel de la population.

3.3. Les utilisations de la graine de lin

3.3.1. La graine comme laxatif

On utilise la graine de lin entière, écrasée ou broyée que l'on consomme avec un grand volume d'eau. Les mucilages gonflent alors dans l'intestin, augmentant ainsi le volume de celui-ci et stimulant le péristaltisme du gros intestin, ce qui permet d'accélérer le transit. C'est un laxatif mécanique doux à effet de lest avec un effet lubrifiant qui va donc protéger les muqueuses par effet couvrant [6].

On constate l'effet laxatif en 12 à 24 heures après l'administration (parfois jusque 2 à 3 jours)

Effets Indésirables :

- flatulences en début de traitement dues à la fermentation des mucilages des graines
- obstruction intestinale si la quantité d'eau est insuffisante

Contre indication :

- sang dans les selles
- problème modifiant le diamètre ou la motricité de l'intestin

- dans le cas de diverticulite ou de colon irritable, on préférera les graines moulues car il y a un risque de se coller à la paroi et de s'inflammer
- en cas de surpoids, on utilisera plutôt les graines entières afin de diminuer l'absorption des matières grasses par l'intestin

Précautions d'Emploi :

Il est important de consommer les graines de lin 2 heures avant ou après un repas pour éviter de réduire son absorption.

Les graines broyées se conservent au réfrigérateur quelques semaines, les graines intactes se conservent à température ambiante

3.3.2. La graine de lin contre les signes de la ménopause

La ménopause se caractérise par l'arrêt du fonctionnement du cycle ovarien, elle survient généralement entre 45 et 55 ans. Elle apparaît lorsque le stock de follicules ovarien pouvant déclencher un cycle devient nul, le cycle ovarien ne peut donc pas débuter, on aura alors un arrêt de la production de progestérone suivi d'un arrêt de la production d'œstrogène.

L'œstrogène est l'hormone qui stimule la croissance de la muqueuse utérine (l'endomètre) qui s'épaissit en vue d'une possible grossesse. La progestérone, elle, permet de stopper la prolifération des cellules de l'endomètre afin de lui donner des propriétés nécessaires à la nidification.

Les symptômes de la ménopause sont variables d'une femme à l'autre. En plus de l'arrêt des cycles ovariens et donc de l'arrêt des menstruations, la ménopause peut s'accompagner de troubles essentiellement dus à une carence en œstrogènes comme une perte osseuse, des bouffées de chaleur, des suees nocturnes, des maux de tête, une sensation de fatigue, des troubles du sommeil, des douleurs articulaires et une irritabilité pouvant aller jusqu'à la dépression. Ces symptômes apparaissent souvent de manière transitoire et s'atténuent avec le temps.

3.3.2.1. Les bouffées de chaleur

Les bouffées de chaleur sont caractérisées par une sensation d'intense chaleur qui envahit le corps et s'accompagne souvent de suées, de rougeurs sur la peau et parfois même de frissons. La fréquence et la durée de ces bouffées varient d'une femme à l'autre. Elles sont généralement très contraignantes du fait de leurs répercussions sur l'humeur et le sommeil [30].

Une étude a été réalisée sur une population de 29 femmes ménopausées souffrant de bouffées de chaleur particulièrement pénibles et ne prenant aucun traitement contre leurs symptômes [31]. Les résultats que rapportent les volontaires après 6 semaines d'apport de 40 grammes de graine de lin écrasées par jour sont :

- Amélioration très nette de leur qualité de vie
- Diminution de 50% de la fréquence d'apparition de leurs bouffées de chaleur
- Amélioration de l'humeur
- Diminution des douleurs musculaires et articulaires
- Diminution des suées et des frissons

Cette étude apporte des résultats prometteurs sur le fait que les graines de lin auraient un effet bénéfique sur certains symptômes de la ménopause.

3.3.2.2. La dépression

La dépression est l'un des symptômes les plus courants de la ménopause, il est actuellement traité par un traitement substitutif en œstrogène et un traitement antidépresseur. Cependant le traitement substitutif peut avoir de graves effets indésirables comme l'augmentation du risque cardiovasculaire ischémique, artériel ou veineux ainsi que l'augmentation du risque de cancer du sein et de l'ovaire. Il est donc important de trouver de nouvelles alternatives plus sûres et plus tolérables.

C'est pourquoi une étude s'est intéressée à l'effet antidépresseur du sécoisolariciresinol (SECO), un constituant phytoestrogène de type lignane naturel présent dans la graine de lin qui sera métabolisé in vivo en entérodiol et entérolactone [32].

Dans cette étude, plusieurs groupes ont été observés :

- Un groupe témoin positif comportant des souris ovariectomisées traitées par Imipramine, un antidépresseur tricyclique, inhibiteur de la recapture de la sérotonine.
- Un groupe témoin comportant des souris ovariectomisées sans traitement
- Trois groupes d'études comportant des souris ovariectomisées traitées respectivement par 5, 10 et 20 mg/kg de SECO par administration intragastrique pendant 14 jours.

Les résultats ont démontré que le traitement par SECO à 10 et 20 mg/kg pouvait réduire significativement la durée d'immobilité des souris ovariectomisées par rapport au groupe témoin. Cette observation étant comparable au groupe témoin positif traité par Imipramine. De plus, le traitement par SECO pourrait également augmenter la concentration en monoamine (noradrénaline et dopamine, des neurotransmetteurs ayant un rôle dans la régulation de l'humeur) chez les souris ovariectomisées.

Cette étude a donc montré que SECO pouvait améliorer le comportement dépressif ainsi que les concentrations des monoamines qui le régule.

3.3.3. La graine contre le cancer [10][33][34]

Le cancer se caractérise par une croissance incontrôlée de cellules anormales jusqu'à la formation d'une tumeur.

Les cellules anormales apparaissent lorsque l'ADN des cellules normales est endommagé par divers facteurs externes (UV, tabac, produits chimiques industriels) ou internes (mutations génétiques, hormones). Ensuite un réseau de vaisseaux sanguins se développera afin d'assurer un apport régulier en oxygène et en nutriments pour cette croissance, c'est l'angiogenèse.

De plus, certaines cellules tumorales peuvent se détacher de la tumeur principale vers d'autres tissus dans l'organisme, ce sont des métastases.

Le lin contient 3 composants nutritionnels pouvant diminuer le risque de développer certains cancers : l'acide alpha-linolénique (ALA), les lignanes et les fibres alimentaires.

3.3.3.1. L'ALA

L'ALA est un acide gras essentiel qui modifie de manière importante la composition des membranes cellulaires inhibant alors la libération d'écossanoïdes pro-inflammatoires. Ces substances permettent le contrôle de la croissance et de l'invasion des cellules tumorales, ils modulent aussi l'apoptose de ces cellules.

3.3.3.2. Les lignanes

Le lin est riche en lignanes. Lorsqu'ils sont ingérés, ils sont dégradés par la flore intestinale en entérodiol et entérolactone qui sont des phyto-œstrogènes. Leur structure chimique semblable aux œstrogènes humains permet de favoriser l'équilibre du niveau hormonal dans le corps. Ils sont donc prometteurs dans la réduction de la croissance des tumeurs cancéreuses notamment celles sensibles aux hormones : sein, endomètre, prostate.

En effet une étude menée au Canada en 2013, a recherché si les graines de lin seraient efficaces pour réduire le risque de cancer du sein ainsi que la croissance tumorale. Cette étude a aussi étudié leur interaction avec les médicaments contre le cancer du sein [35].

L'étude consistait en une analyse documentaire des études in vitro, animales, observationnelles et cliniques des effets des graines de lin, de ses lignanes et son huile.

La plupart des études sur les rongeurs ont montré :

- qu'un régime avec 2,5 à 10% de graines de lin ou l'équivalent en lignanes ou en huile pouvait diminuer la croissance tumorale
- qu'un régime avec 10% de graine de lin ou l'équivalent en lignanes pouvait améliorer l'efficacité du Tamoxifène
- qu'un régime avec 4% de graine de lin ou d'huile de graine de lin pouvait augmenter l'efficacité du Trastuzumab

Les essais cliniques, eux, ont montré qu'un apport de 25 g/jour de graines de lin avec 50 mg de lignanes pendant 32 jours pouvait diminuer la croissance tumorale chez les femmes atteintes d'un cancer du sein [35].

En effet, sachant que l'oestradiol est la forme biologiquement active de l'œstrogène, qu'après oxydation, elle se transforme en oestrone puis en 2-hydroxyestrone (ayant peu d'activité biologique) et en 16 α -hydroxyestrone (qui renforce les actions de l'œstrogène et augmente la prolifération cellulaire). On suppose donc que les personnes qui produisent plus de 16 α -hydroxyestrone peuvent présenter un plus grand risque de cancer du sein.

Plusieurs études sur des femmes ménopausées ont démontré que l'apport de graines de lin permettait d'augmenter l'excrétion urinaire de 2-hydroxyestrone mais pas de 16 α -hydroxyestrone [35]. Les graines de lin permettraient donc d'augmenter la production de 2-hydroxyestrone, relativement inactive, sans augmenter la production de 16 α -hydroxyestrone justifiant alors le rôle des graines de lin dans la prévention du cancer du sein.

Ces résultats pourraient s'expliquer par différents mécanismes :

- diminution de la prolifération cellulaire
- diminution de l'angiogenèse
- augmentation de l'apoptose grâce à la modulation du métabolisme des oestrogènes ainsi que des voies de signalisation des récepteurs aux oestrogènes et des facteurs de croissance.

L'ensemble des données générales actuelles indiquent que la graine de lin et ses composants seraient efficaces dans la réduction du risque de cancer du sein et contribueraient aussi au traitement de celui-ci tout en étant sécuritaire sur le plan alimentaire pour les patientes. Cependant, d'autres études sont encore nécessaires [35].

3.3.3.3. Les fibres alimentaires

Les fibres alimentaires sont une source de substances bioactives antioxydantes permettant d'inhiber le processus cancéreux. En effet, on observe dans les populations asiatiques ainsi que chez les végétariens, qui ont une alimentation riche en fibres, une diminution du risque de cancer par rapport aux populations occidentales.

3.3.4. La graine de lin et les maladies cardio vasculaires

3.3.4.1. La graine contre l'obésité [28][36]

L'obésité est devenue en quelques années un problème de santé majeur dans notre société. Le développement de cette maladie a des conséquences pathologiques sévères comme le développement de diabète de type 2 ou de maladies cardiovasculaires comme l'hypertension artérielle ou des dyslipidémies.

Il existe de nombreuses causes au développement de cette maladie et l'évolution de notre modèle alimentaire en fait partie. De nos jours, nous consommons de moins en moins de féculents, de plus en plus de glucides à fort index glycémique, de plus en plus de graisses et de protéines animales. Les animaux d'élevage sont la plupart du temps nourris avec du maïs ou du soja, deux graines riches en acide gras oméga 6. On observe également une augmentation très importante du ratio acide gras oméga 6/ acide gras oméga 3, passant de 5 à 23 en 40 ans. Plusieurs questions peuvent alors se poser : l'augmentation de l'incidence de toutes ces maladies est-il dû à une carence d'apport en oméga 3 ? Est-ce qu'un apport suffisant en acide gras oméga 3 aurait un rôle préventif voire même curatif ?

L'apport en ALA, un acide gras oméga 3, se fait par la consommation d'huiles végétales comme l'huile de colza (contient 10% d'ALA), l'huile de noix (contient 15% d'ALA) ou encore l'huile de lin (contient 60 à 70% d'ALA). Une fois consommé l'organisme va le convertir en acide gras oméga 3 à longue chaîne EPA ou DHA, mais le taux de conversion chez l'Homme est faible (< 5%) et donc insuffisant.

C'est pourquoi, il est nécessaire de trouver des sources directes d'acide gras oméga 3 à longue chaîne. Par la consommation de poisson gras, qui est une source directe d'EPA et DHA, ou par la consommation de produits issus d'animaux d'élevage de la filière Bleu Blanc Cœur.

En 2006, le CERN (Centre d'Enseignement et de Recherche en Nutrition humaine) et l'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique) ont étudié l'amélioration des paramètres de l'obésité par la consommation de produits issus de la filière Bleu Blanc Cœur [36].

Pour cette étude, 137 volontaires répartis en 2 groupes ont suivi un régime identique en termes de calories, quantité de protéines et quantité de glucides pendant 90 jours. Ils ont tous un IMC supérieur à 30 et au moins 2 critères du syndrome métabolique (HTA, TG élevés,

hyperglycémie, HDL faible). Le groupe témoin consommera des produits lipidiques d'origine conventionnelle et le groupe Bleu Blanc Cœur consommera, lui, des produits lipidiques issus de produits animaliers nourris au lin.

Les résultats ont démontré :

- dans les 2 groupes, une perte de poids, une baisse de l'IMC et du tour de taille. Après 150 jours d'arrêt du régime, le groupe témoin a repris du poids et a vu une augmentation de l'IMC et du tour de taille
- une hausse de la teneur en oméga 3 dans le groupe Bleu Blanc Cœur mais une baisse de cette teneur dans le groupe témoin
- les teneurs en acide eicosapentaénoïque (EPA) ainsi qu'en acide docosahexaénoïque (DHA) se sont maintenues dans le groupe Bleu Blanc Cœur mais ont baissé dans le groupe témoin. On peut en déduire que l'ajout de graines de lin dans l'alimentation des animaux pourrait compenser l'absence de consommation de poisson de l'alimentation de nos jours
- aucune différence sur les paramètres lipidiques sanguins entre les deux groupes

On a donc observé dans cette étude que la consommation de produits issus de la filière Bleu Blanc Cœur ayant une teneur plus importante en oméga 3 permettrait une amélioration des critères liés à l'obésité.

Cependant, l'augmentation de l'apport en acides gras oméga 3 n'est certainement pas suffisante pour assurer au long terme une prise en charge efficace, à la fois préventive et curative de l'obésité, mais, elle ouvre la voie vers d'autres perspectives.

Mis à part leur fonction énergétique commune à tous les acides gras et leur rôle dans la modulation des cytokines inflammatoires, les acides gras oméga 3 jouent aussi un rôle essentiel sur l'expression génique de la lipogenèse. En effet, ils inhibent le gène codant de la SREBP puis sa scission par la SCAP, empêchant ainsi la synthèse de la SREBP mature indispensable à l'expression des gènes de la lipogenèse.

3.3.4.2. La graine contre le diabète [37]

En 2006, le CERN et l'INRA ont étudié l'effet d'un régime naturellement riche en oméga3 et en CLA 9-cis, 11-trans sur l'insulinorésistance et les paramètres du diabète de type 2 [37].

Pour cette étude, 44 personnes volontaires diabétiques, hyperlipidiques et obèses ont été réparties en 3 groupes et ont suivi le même régime pendant 105 jours avec 1970 kcalories, 18% de protéines, 30,5% de lipides et 51,5% de glucides. La seule différence réside dans l'origine des produits consommés. Le groupe 1 témoin a consommé des produits d'origine classique.

Le groupe A a consommé les mêmes produits d'origine classiques pour la viande, les yaourts, le lait et le beurre mais leur pain contenait 5% de graines de lin extrudées et les œufs provenaient de poules consommant du lin (filière Bleu Blanc Cœur).

Le groupe B n'ont consommé que des produits d'origine Bleu Blanc Cœur et du pain au lin.

Les résultats ont donné ceci :

- concernant la réduction du tour de hanche : témoins < A < B
- concernant la perte de poids en kilos : témoins < A < B
- concernant la diminution de l'IMC : témoins < A < B
- concernant l'augmentation de la teneur en ALA : A (20%) < B (24%)
- concernant la diminution du taux TG : A = B (20%)
- concernant la diminution de l'insulinémie : A < B
- concernant l'amélioration de la résistance à insuline : A (8%) < B (27%)

Donc les groupes A et B ont eu une évolution flagrante de leurs critères anthropométriques et lipidiques, le groupe B a une plus forte augmentation de ses paramètres glucidiques par rapport au groupe A. Ainsi les teneurs en CLA 9 cis, 11 trans et oméga 3 qui sont augmentées dans le régime du groupe B semblent améliorer les critères du diabète de type 2.

On privilégiera donc une alimentation avec des produits plus riches en oméga 3 afin d'agir efficacement sur les paramètres glucidiques d'une personne diabétique.

3.3.4.3. Effet de la graine de lin sur l'inflammation [38]

La CRP (Protéine C-Réactive) est un marqueur clé de l'inflammation, sa concentration reflète le degré d'inflammation. De nombreuses études suggèrent que l'inflammation serait impliquée positivement dans le risque de maladies cardiovasculaires ainsi que ses facteurs de risques comme le diabète de type 2, l'obésité abdominale et le syndrome métabolique [39]. Etant donné que certains facteurs alimentaires comme les stérols végétaux, les fibres, les isoflavones et les acides gras omégas 3 polyinsaturés (EPA, DHA et ALA) auraient un effet cardiovasculaire protecteur, la graine de lin serait donc un aliment fonctionnel intéressant de par sa source importante en ALA ainsi que sa forte teneur en fibres.

En effet, il a été démontré que l'ALA permettait une régulation négative de l'expression des gènes inflammatoires hépatiques chez des rats diabétiques ainsi qu'une réduction importante de la CRP dans le plasma de rats nourris avec un régime riche en graisses [40] [41]. C'est pourquoi de nombreux chercheurs ont étudié les résultats de l'intervention de la graine de lin sur divers facteurs de risque cardiovasculaire notamment sur l'inflammation. Cependant les résultats étaient incohérents. Ces incohérences sont certainement du aux différents aspects de la conception des études.

C'est pourquoi une méta-analyse des essais cliniques randomisés publiés a été effectuée pour évaluer si l'administration de graines de lin ou de ses dérivés pouvait améliorer le statut inflammatoire [38]. Cette méta-analyse combine les résultats de 20 études concernant 1378 sujets entre 25 et 65 ans sur des durées allant de 2 à 52 semaines. 9 essais ont testé des graines de lin entières, moulues ou en farine à des doses entre 13 et 60 gr/jour, l'huile de lin a été testée dans 8 autres essais à des doses entre 1 à 11,6 gr/jour d'ALA, dans les 3 autres essais un supplément de lignanes à été utilisé à des doses entre 360 et 600 mg/jour.

Les résultats ne montrent pas de changement significatif du taux de CRP induit par les graines de lin ou ses dérivés, en effet il existe une grande hétérogénéité des études en fonction du niveau initiale de la CRP, du type d'étude, de l'IMC initial des sujets et de la durée de l'étude. Seules les études sur les populations obèses ou chez des personnes âgées de plus de 50 ans ont montré des résultats significatifs pour la réduction du taux de CRP. En effet, ces populations ont tendance à avoir un taux sanguin de CRP plus important. Il est donc nécessaire d'effectuer plus d'études sur des échantillons plus vastes et un taux initial de CRP moins important pour connaître l'effet des graines de lin sur la diminution du taux de CRP.

Nous savons aussi que la consommation d'acides gras polyinsaturés omégas 3 comme EPA et DHA a un effet bénéfique sur les maladies cardiovasculaires, le diabète et d'autres maladies liées à l'obésité. Cependant, une récente méta-analyse a démontré que les acides gras omégas 3 d'origine marine permettaient une réduction significative du taux de CRP sans savoir si les acides gras omégas 3 d'origine végétale avaient des effets similaires [42].

La graine de lin était considérée comme une source d'acides gras omégas 3 plus économique et plus facilement disponible que les acides gras omégas 3 d'origine marine mais cette méta-analyse n'apporte pas de preuves suffisantes sur l'effet hypotenseur de l'huile de graine de lin. Ces résultats peuvent s'expliquer par le taux de conversion de ALA en EPA et DHA qui peut être considéré comme négligeable, ainsi la dose biologique efficace ne peut être atteinte. De plus, dans cette méta-analyse, les effets de l'huile de lin ont pu être masqués par l'utilisation d'acides gras monoinsaturés ou d'acide gras polyinsaturés oméga 6 comme régime de contrôle, il est donc nécessaire d'avoir plus d'études pour savoir si en remplaçant les acides gras monoinsaturés ou acides gras polyinsaturés omégas 6 par des acides gras saturés ou trans pourrait réduire le taux de CRP.

Sachant que les fibres alimentaires peuvent en partie ou complètement être fermentées en acides gras à chaîne courte (acétate, propionate et butyrate), une autre étude a démontré que le propionate pouvait diminuer le taux de cytokine pro-inflammatoire TNF-alpha dans le tissu adipeux [39]. Ainsi le composant fibreux des graines de lin entières pourrait être la cause de la diminution du taux de CRP chez les patients en surpoids ou obèses.

Les lignanes sont connues pour leurs propriétés anti oxydantes et partagent certaines caractéristiques chimiques de la lignine, une fibre insoluble, cependant, il existe trop peu d'études humaines étudiant leur rôle sur l'inflammation, il est nécessaire d'approfondir afin de conclure sur un éventuel effet hypotenseur de la CRP.

Il existe une hétérogénéité considérable dans cette méta-analyse concernant les populations étudiées, compliquant ainsi l'interprétation des résultats. Les différents participants peuvent être en surpoids ou obèse, hémodialysés, en insuffisance rénale, atteint de diabète de type 2, de polyarthrite rhumatoïde ou avec un syndrome métabolique. Il peut s'agir aussi d'individus sains pouvant influencer différemment l'effet de la graine de lin et de ses dérivés. En effet, la composition du microbiote intestinale est très variable d'un individu à un autre, or, les composants de la graine de lin doivent être fermentés ou métabolisés par les bactéries

intestinales pour avoir un effet biologique ce qui peut aussi influencer la réponse inflammatoire.

Les données ne montrent pas de preuves suffisantes quand à l'effet bénéfique des graines de lin ou de ses dérivés sur la diminution du taux de CRP circulant (excepté dans une population obèse), ainsi, de nouvelles études mieux conçues, avec des plus grands échantillons et des durées suffisantes sont nécessaires afin d'étudier leur efficacité sur l'amélioration des facteurs inflammatoires.

3.3.5. La graine de lin comme antidépresseur [44]

Le cerveau est un des organes les plus sensibles au stress. Ce stress se caractérise alors par une augmentation de la formation de radicaux libres, une consommation accrue d'hormones et une augmentation de l'activité enzymatique. Une exposition excessive au stress peut mener jusqu'à la dépression et altérer le comportement, l'apprentissage et de nombreux processus biochimiques. Une grande partie des patients sous traitement antidépresseur de nos jours sont considérés comme résistants aux traitements en raison de l'absence d'effet désiré et de nombreux effets secondaires. C'est pourquoi, des solutions naturelles sont nécessaires pour un meilleur effet positif et moins d'effets indésirables.

En raison de la composition de la graine de lin en acide gras oméga 3 ainsi qu'en nombreux composés phénoliques comme des acides phénoliques, des flavonoïdes, des lignanes et des vitamines C et E, une étude a évalué les propriétés anti-dépressives des polyphénols seuls provenant de la pelure de grenade ou des polyphénols associés aux acides gras oméga 3 provenant de graines de lin chez des souris exposées à un stress chronique léger [44].

Pour cette étude, 40 souris mâles ont été divisées en 5 groupes : le groupe des souris témoins non exposées au stress et les 4 autres groupes ont été exposés à un stress léger puis nourris avec soit 10 mL d'eau distillée/kg de poids, soit 15 mg/kg d'Imipramine (un antidépresseur inhibiteur de la recapture de la sérotonine), soit 30 mg/kg de polyphénols extrait de pelure de grenade ou alors 30 mg/kg de polyphénols ainsi que 2,5mg d'acide gras oméga 3 extraits de graines de lin. L'exposition au stress pour les 4 derniers groupes de souris se caractérise par une alternance de privation de nourriture et d'eau, un éclairage continu pendant la nuit, une cage souillée, des bruits ainsi qu'une baisse des températures, pendant environ 50 jours.

A la suite de ces 50 jours, plusieurs mesures ont été effectuées afin d'évaluer l'effet antidépresseur des différents groupes :

- Mesure de la consommation de sucre

Dans le groupe des souris exposées au stress mais sans traitement, on observe une diminution progressive de la consommation de sucre de 1,4 mL/jour à 0,81 mL/jour.

Les groupes de souris exposées au stress et nourris à l'Imipramine ou aux graines de lin maintiennent leur consommation de sucre même si elle reste inférieure à celle du groupe témoin non exposé au stress, tandis que le groupe de souris nourris aux pelures de grenade augmente sa consommation de sucre par rapport au groupe exposé au stress mais sans traitement.

La consommation de sucre chez les souris exposées au stress chronique léger est plus importante dans les groupes traités par Imipramine ou par un apport de graines de lin, elle reste moindre dans le groupe de souris nourris aux pelures de grenade et diminue davantage chez les souris non traitées.

- Mesure de l'activité MAO-A et MAO-B

Les monoamines oxydases (MAO) sont des oxydoréductases qui interviennent dans le catabolisme des neurotransmetteurs de la classe des monoamines notamment la sérotonine, la noradrénaline et la dopamine, ils participent alors à la régulation de l'humeur.

L'induction d'un stress chez les souris provoque une augmentation de l'activité enzymatique des monoamines oxydases A et B.

Dans le groupe des souris nourries avec de l'Imipramine ou de l'extrait de graines de lin, on observe l'effet inverse, soit une inhibition de l'activité enzymatique.

Chez les souris nourries par la pelure de grenade, on observe une diminution moins significative de l'activité enzymatique des monoamines oxydases.

Le pourcentage d'inhibition de l'activité enzymatique est alors plus important dans le groupe des souris nourries avec des extraits de graines de lin par rapport aux souris nourries avec des extraits de pelures de grenade.

- Mesure des concentrations de l'adrénaline et la noradrénaline

Ces hormones peuvent stimuler la glycogénolyse et la lipolyse dans certains tissus, augmentant ainsi le stress oxydatif notamment dans le tissu cérébral.

On observe une diminution significative de la concentration de ces hormones dans les groupes des souris exposées au stress et traitées soit par l'Imipramine, soit par un apport en extrait de graines de lin ou encore traitées par un extrait de pelures de grenade. Cependant, cette diminution est plus importante chez les souris nourries avec des extraits de graines de lin par rapport aux souris nourries avec des extraits de pelures de grenade.

- Mesure de la peroxydation lipidique

La peroxydation lipidique chez les souris exposées à un stress léger chronique augmente et permet la formation de radicaux libres qui induisent des dommages tissulaires. Que ce soit un traitement par Imipramine, par un extrait de graines de lin ou même par un extrait de pelures de grenade, on observe chez les souris traitées une inhibition complète de la peroxydation lipidique.

Pour évaluer les propriétés antidépressives d'une formule naturelle, l'induction d'un stress léger chronique chez des souris pourrait être un modèle approprié. Cependant, le rapport entre la dépression et la biologie est extrêmement complexe et les propriétés antidépressives ne peuvent être entièrement expliquées par une seule source de dépression. En effet, de nombreux patients ne répondent pas toujours complètement aux traitements médicamenteux antidépresseurs.

Il a été démontré que l'induction d'un stress léger chronique réduit la consommation de sucre, augmente l'activité de MAO, la peroxydation lipidique ainsi que la concentration d'hormones.

Les médicaments antidépresseurs permettent d'éliminer le stress en normalisant l'activité enzymatique, la peroxydation lipidique et le niveau d'hormone. Les polyphénols végétaux, par leur propriété antioxydante, peuvent agir sur le stress. Les acides gras, eux, vont jouer un rôle dans la gestion du stress oxydatif mais aussi dans la modulation de la fonction cérébrale notamment sur la fluidité membranaire neuronale, l'affinité des neurotransmetteurs membranaires, l'affinité du canal ionique membranaire, la régulation de la taille des neurones ainsi que le contrôle de l'humeur. En effet, la conversion de l'ALA en DHA favorise

l'absorption du glucose stimulant ainsi les neurones pour une meilleure fonction cognitive et donc un stress oxydatif réduit. De plus, l'acide gras oméga 3 sera rapidement métabolisé en cétones, un combustible secondaire pour la fonction cérébrale. Cela suggère donc une meilleure supplémentation énergétique à partir de l'extrait de graines de lin que l'extrait de pelures de grenade pour améliorer la fonction cognitive.

On peut donc voir dans cette étude que l'effet global de l'extrait de graine de lin (avec des polyphénols associés à des acides gras oméga 3) est meilleur pour surmonter un stress léger chronique, prouvant ainsi l'importance de l'acide gras oméga 3.

3.3.6. La graine en cosmétique [45] [46]

On retrouve des extraits de graines de lin dans des soins adoucissants, hydratants et reconstituants.

En effet, les graines de lin sont riches en mucilages : des fibres solubles composées de polysaccharides. Les mucilages ont la particularité de retenir l'eau dans la peau, ils vont rester en surface afin de colmater les brèches de l'épiderme ou d'entourer la fibre capillaire. Ils auront alors pour effet d'augmenter le diamètre du cheveu et comme ils se rigidifient, ils apporteront de la tenue et de l'ampleur au cheveu le rendant plus facile à coiffer.

CONCLUSION

Les vertus du lin ne sont plus à démontrer. Que ce soit sa fibre pour ses utilisations dans le textile ou encore dans les matériaux composites. Son huile qui, elle, est utilisée dans l'industrie, en cosmétique et en nutrition grâce à sa composition riche en acide gras oméga 3 et oméga 6.

Néanmoins, la partie la plus utilisée du lin, la plus variée et la plus intéressante en santé humaine reste la graine de lin. Avec sa composition riche en phyto-estrogène qui expliquerait ses nombreux effets potentiels contre les signes de la ménopause, les cancers hormono dépendants ou encore les maladies cardiovasculaires.


Les études ne sont cependant qu'observationnelles et nécessitent de nouvelles approches mieux conçues, plus précises et plus complètes, avec des plus grands échantillons de population.

Récemment, un infirmier des Hauts de France a créé une gamme complète de pansements qui utilisent comme support une compresse en lin. Ces produits se retrouvent beaucoup moins allergisants que les pansements modernes avec des trames chimiques très efficaces pour la cicatrisation mais qui s'avèrent très allergisant pour près de 20% des patients.

Le lin, par son mode de production écologique et économique reste donc une plante très intéressante au vu de ses nombreux domaines d'action tout en étant très sécuritaire.



ORIGIN LIN,
LA FRAÎCHEUR AU NATUREL

Chaussettes Femmes - Chaussettes Hommes



FLEUR DE LIN FRAIS ET RESPIRANT HYPOALLERGÉNIQUE

Fraîcheur, respirant



ANNEXE 2 : Boston Carpal Tunnel Questionnaire

(一) Symptom severity scale (11 items)

	1	2	3	4	5
1. How severe is the hand or wrist pain that you have at night?	Normal	Slight	Medium	Severe	Very serious
2. How often did hand or wrist pain wake you up during a typical night in the past two weeks?	Normal	Once	2 to 3 times	4 to 5 times	More than 5 times
3. Do you typically have pain in your hand or wrist during the daytime?	No pain	Slight	Medium	Severe	Very serious
4. How often do you have hand or wrist pain during daytime?	Normal	1-2 times / day	3-5 times / day	More than 5 times	Continued
5. How long on average does an episode of pain last during the daytime?	Normal	< 10minutes	10-60 Continued	> 60minutes	Continued
6. Do you have numbness (loss of sensation) in your hand?	Normal	Slight	Medium	Severe	Very serious
7. Do you have weakness in your hand or wrist?	Normal	Slight	Medium	Severe	Very serious
8. Do you have tingling sensations in your hand?	Normal	Slight	Medium	Severe	Very serious
9. How severe is numbness (loss of sensation) or tingling at night?	Normal	Slight	Medium	Severe	Very serious
10. How often did hand numbness or tingling wake you up during a typical night during the past two weeks?	Normal	Once	2 to 3 times	4 to 5 times	More than 5 times
11. Do you have difficulty with the grasping and use of small objects such as keys or pens?	Without difficulty	Little difficulty	Moderately difficulty	Very difficulty	Very difficult

(二) Functional status scale (8 items) :

	No difficulty	Little difficulty	Moderate difficulty	Intense difficulty	Cannot perform the activity at all due to hands and wrists symptoms
Writing	1	2	3	4	5
Buttoning of clothes	1	2	3	4	5
Holding a book while reading	1	2	3	4	5
Gripping of a telephone handle	1	2	3	4	5
Opening of jars	1	2	3	4	5
Household chores	1	2	3	4	5
Carrying of grocery basket	1	2	3	4	5
Bathing and dressing	1	2	3	4	5

ANNEXE 3 : crème hydratante composée de lin



BIBLIOGRAPHIE DES FIGURES

Figure 1 – « la plante de lin »

<http://www7.inra.fr/hyppz/CULTURES/3c---068.htm>

Figure 2 – « tige avec feuille de lin »

<https://quelle-est-cette-fleur.com/Fiches-botaniques/Fiche-espece-lin-bisannuel.php>

Figure 3 – « fleur de lin »

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Du_lin_cultiv%C3%A9_en_mai_2009.JPG

Figure 4 – « capsule de lin »

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lin_capsule_Cl_1_j_Weber_\(23975570592\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lin_capsule_Cl_1_j_Weber_(23975570592).jpg)

Figure 5 – « graines de lin »

https://fr.wikipedia.org/wiki/Lin_cultiv%C3%A9#/media/File:Brown_Flax_Seeds.jpg

Figure 6 – « coupe transversale d'une tige de lin »

https://www.google.com/search?q=schema+coupe+transversale+tige+de+lin&client=firefox-b-ab&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi6-7iR4-jgAhVbA2MBHWX8AVAQ_AUIDigB&biw=1366&bih=664#imgrc=THs4F0yBLcUUKM:

Figure 7 – « paroi de fibre de lin et son schéma explicatif »

<http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/textiles/08-lin-fibre.html>

Figure 8 – glucosides du sécoisolaricirésinol (SDG)

Figure 9 – entérodiol (ED)

Figure 10 – entérolactone (EL)

Figure 11 – Oestrogène

Figure 12 – acide linoléique (LA)

Figure 13 – acide α -linoléique (ALA)

Figure 14 – Synthèse de l'acide arachidonique

Figure 15 – synthèse de l'acide eicosapentaénoïque et de l'acide docosahexaénoïque

Figure 16 - « Schéma simplifié d'une presse à vis »

ROMBAUT Natacha « Etude comparative de trois procédés d'extraction d'huile : aspects qualitatifs et quantitatifs. Application aux graines de lin et aux pépins de raisin » - Thèse pour l'obtention du grade de Docteur de l'UTC- Compiègne- 2013

Figure 17 – Comparaison des résultats du traitement dans les groupes attelle et gel avant et après intervention.

Setayesh M, Sadeghifar AR, Nakhaee N, Kamalinejad M, Rezaeizadeh H. "A topical gel from flax seed oil compared with hand splint in carpal tunnel syndrome: a randomized clinical trial" J Evid based Complementary Altern Med. 2016 Dec 1

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Didier LAVERGNE, « LINACÉES », *Encyclopædia Universalis* [en ligne], consulté le 10 octobre 2016. URL : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/linacees/>
- [2] cours de botanique de 1ere année de pharmacie du professeur faculté de lille 2
- [3] Frédéric Dupont, Jean Louis Guignard. *Abrégés de pharmacie. Les familles de plantes*. 15^e édition.
- [4] industrie française du lin. USRTL. www.usrtl-ifl.fr
- [5] Agence canadienne d'inspection des aliments. *La biologie du Linum usitatissimum*. www.inspection.gc.ca/vegetaux/vegetaux-a-caracteres-nouveaux/demandeurs/directive-94-08/documents-sur-la-biologie/linum-usitatissimum-1-/fra/1330979709525/1330979779866
- [6] Jean Bruneton. *Pharmacognosie, Phytochimie, plantes médicinales*. 4^e édition. Editions Tec & Doc.
- [7] P. Weill, G. Mairesse. *Le lin, son huile, sa graine et notre santé*. Valorex, La Messayais, F-35210 Combourtille, France.
- [8] François Bert. (Février 2013) *Lin fibre : culture et transformation*. ARVALIS- institut du végétal
- [9] E. Lainé, C.Hano, F. Lamblin. Les lignanes phytoestrogènes du lin sont ils des bienfaiteurs méconnus
- [10] Ann Przybyla Wilkes *Le lin – la santé cardiovasculaire*. Flax Council of Canada
- [11] «L'essentiel du rapport « Sécurité et bénéfices des phyto-oestrogènes- Recommandations» AFSSA-2005 <https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT-QR-phyoestrogenes.pdf#page=4&zoom=auto,0,501>

- [12] « Les phytoestrogènes » CHATENET C.- Actualités pharmaceutiques n°473-p10à23-
Avril 2008
- [13] « Les phytoestrogènes dans l'alimentation et la thérapie : discussion. » BENNETAU-
PELISSERO C.- Cahiers de Nutrition et de Diététique, Vol 36, n°1, Mars 2001
- [14] « Les lignanes : phytoestrogènes du lin sont-ils des bienfaiteurs méconnus ? » LAINE E.,
HANO C., LAMBLIN F.- Phytothérapie- septembre 2007. Vol. 5, n°3, p121-128
- [15] « Actualisation des apports nutritionnels conseillés pour les acides gras » Rapport
d'expertise collective- ANSES- Mai 2011
- [16] BIRAULT Nathalie *Le lin : utilisations actuelles et perspectives*. Thèse pour l'obtention
du diplôme de docteur en Pharmacie – Bordeaux – 2003
- [17] www.lelin-cotenature.fr
- [18] dossier de presse ORIGIN LIN-Sigvaris
- [19] ROMBAUT Natacha « Etude comparative de trois procédés d'extraction d'huile :
aspects qualitatifs et quantitatifs. Application aux graines de lin et aux pépins de raisin » -
Thèse pour l'obtention du grade de Docteur de l'UTC- Compiègne- 2013
- [20] ANSES « Profil toxicologique du n-hexane » rapport d'expertise- Mai 2014
- [21] Ascherio, A., Rimm, E.B., Giovannucci, E.L., et al. 1996. Dietary fat and risk of
coronary heart disease in men: Cohort follow-up study in the United States. *Br. Med. J.*
313:84-90
- [22] Renaud, S., de Lorgeril, M., Delaye, J. et al. 1995. Cretan Mediterranean diet for
prevention of coronary heart disease. *Am. J. Clin. Nutr.* 61 (Suppl): 1360S-7S
- [23] Cunnane, S.C. et al. 1995. Nutritional attributes of traditional flaxseed in healthy young
adults. *Am. J. Clin. Nutr.* 61(1):62-68

[24] Joonhyoung Yang, Sangyeon min et Seungug Hong « *Therapeutic effects of fermented flax seed oil on NC/Nga mice with atopic dermatitis-like skin lesions* » Evidence-based complementary and alternative medicine, vol.2017, Article ID 5469125, 10 pages, 2017

[25] Setayesh M, Sadeghifar AR, Nakhaee N, Kamalinejad M, Rezaeizadeh H. “*A topical gel from flax seed oil compared with hand splint in carpal tunnel syndrome: a randomized clinical trial*” J Evid based Complementary Altern Med. 2016 Dec 1

[26] brochure « Valorex-produits extrudés » - notre process

[27] bleu blanc cœur – « du champ à l’assiette »

[28] “Obésité: une nouvelle approche par l’amélioration qualitative de la chaîne alimentaire » Bernard Schmitt, Pierre Weill. NAFAS-vol 6, n°1, fev 2008

[29] Weill P et al., “Introduction de grains de lin cuites dans du pain. Effets sur les paramètres lipidiques sanguins des consommateurs réguliers de pain. » Nutr. Clin. Met. 16 (2002) S16

[30] <http://www.lanutrition.fr/les-news/menopause-du-lin-contre-les-bouffees-de-chaaleur.html>

[31] Sandya Pruthi, Journal of the Society for Integrative Oncology, summer 2007.

[32] “The antidepressant effect of secoisolariciresinol, a lignan-type phytoestrogen constituent of flaxseed, on ovariectomized mice.” Department of Chemistry, Capital Normal University, Beijing, China. Janvier 2013

[33] « La nutrition : un atout majeur en prévention du cancer » - Seguin Bernier Micheline, Lafrenière Sylvie

[34] Diane H. Morris, PhD, “Flax-A Health and Nutrition Primer” Fourth Edition, 2007. Chapter 6.

[35] Mason JK, Thompson LU “Flaxseed and its lignin and oil components: can they play a role in reducing the risk of and improving the treatment of breast cancer?” department of

[36] « Amélioration des paramètres de l'obésité par la consommation de produits issus de la filière Bleu Blanc Cœur » CERN-INRA-Bleu Blanc Cœur- Valorex (2006)

[37] « Effet d'un régime naturellement riche en oméga 3 et en CLA 9-cis, 11-trans sur l'insulinorésistance et les paramètres du diabète de type 2 » CERN-INRA-Valorex(2006)

[38] “Effect of flaxseed intervention on inflammatory marker c-reactive protein: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials” Ren GY, Chen CY, Chen GC, Chen WG, Pan A, Pan CW, et al. *Nutrients*. Mars 2016;8:136.

[39] Esser N., Paquot N., Scheen A.J. Anti-inflammatory agents to treat or prevent type 2 diabetes, metabolic syndrome and cardiovascular disease. *Expert Opin. Investig. Drugs*. 2015;24:283–307. doi: 10.1517/13543784.2015.974804

[40] Xu J., Yang W., Deng Q., Huang Q., Yang J., Huang F. Flaxseed oil and alpha-lipoic acid combination reduces atherosclerosis risk factors in rats fed a high-fat diet. *Lipids Health Dis*. 2012;11:148. doi: 10.1186/1476-511X-11-148

[41] Jangale N.M., Devarshi P.P., Dubal A.A., Ghule A.E., Koppikar S.J., Bodhankar S.L., Chougale A.D., Kulkarni M.J., Harsulkar A.M. Dietary flaxseed oil and fish oil modulates expression of antioxidant and inflammatory genes with alleviation of protein glycation status and inflammation in liver of streptozotocin-nicotinamide induced diabetic rats. *Food Chem*. 2013;141:187–195. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.03.001

[42] Li K., Huang T., Zheng J., Wu K., Li D. Effect of marine-derived *n*-3 polyunsaturated fatty acids on c-reactive protein, interleukin 6 and tumor necrosis factor alpha: A meta-analysis. *PLoS ONE*. 2014;9:136

[43] Al-Lahham S.H., Peppelenbosch M.P., Roelofsen H., Vonk R.J., Venema K. Biological effects of propionic acid in humans; metabolism, potential applications and underlying mechanisms. *Biochim. Biophys. Acta*. 2010;1801:1175–1183. doi: 10.1016/j.bbalip.2010.07.007.

[44] “ Anti-depressive effect of polyphenols and omega-3 fatty acid from pomegranate peel and flax seed in mice exposed to chronic mild stress” Naveen S., Siddalingaswamy M., Singsit D., Khanum F. Department of Applied Nutrition, Defence Food Research Laboratory, Mysore, India. Novembre 2013

[45] <http://www.topsante.com/beaute-et-soins/beaute-au-naturel/les-ingredients-naturels/le-lin-nouvelle-jeunesse-au-rayon-beaute-73351>

[46] <https://www.klorane.com/fr-fr/botanique/lin>

TABLE DES FIGURES

Figure 1 - Plante de lin	15
Figure 2 - Tige avec feuilles de lin.....	16
Figure 3 - Fleur de lin.....	16
Figure 4 - Capsule de lin	17
Figure 5 - Graines de lin.....	18
Figure 6 - Coupe transversale d'une tige de lin	20
Figure 7 - Paroi de fibre de lin et son schéma explicatif.....	23
Figure 8- Glucosides du sécoisolaricirésinol (SDG).....	25
Figure 9- Entérodiol (ED)	26
Figure 10- Entérolactone (EL)	26
Figure 11- Oestrogène	26
Figure 12- Acide linoléique (LA).....	30
Figure 13- Acide α -linoléique (ALA)	31
Figure 14- synthèse de l'acide arachidonique	34
Figure 15- synthèse de l'acide eicosapentaénoïque et de l'acide docosahexaénoïque	34
Figure 16- Schéma simplifié d'une presse à vis.....	44
Figure 17- Comparaison des résultats du traitement dans les groupes attelle et gel avant et après intervention	50

Nom : DECOCK
Prénom : Eugénie

Titre de la thèse : Le lin : son utilisation en santé et nutrition

Mots-clés : Lin, fibre, Lignanes, phyto-estrogènes, acide gras oméga 3

Résumé : Ces dernières années, en pharmacie, nous observons une demande croissante pour des produits plus naturels, plus sécuritaires pour la santé ainsi que pour l'environnement. La culture du lin, écologique et économique puisqu'elle ne demande ni arrosage, ni pesticides et herbicides, nous offre de nombreuses possibilités.

La tige de lin qui libère la fibre pourra être utilisée pour le textile ou encore les matériaux composites.

Les graines de lin ajoutées à une alimentation équilibrée et grâce aux lignanes qu'elles contiennent auront une action contre l'obésité, le diabète, l'inflammation mais aussi contre certains signes de la ménopause ou encore contre les cancers hormono-dépendants.

Enfin, l'huile de lin obtenue à partir des graines après extraction pourra être utile dans l'industrie, mais aussi en nutrition pour ses effets sur la santé cardiovasculaire ou encore en cosmétique sur la peau ou les cheveux.

Le lin, cette plante aux multiples facettes reste une plante essentielle pour la santé et la prévention de nombreuses maladies.

Membres du jury :

Président : Mr HENNEBELLE Thierry, Professeur des Universités, Lille

Assesseur(s) : Mr WELTI Stéphane, Maître de conférence, Lille

Membre(s) extérieur(s) : Mme DEHOUCK Marie, Pharmacien, Moulle